

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 2 月 8 日
Date of Application:

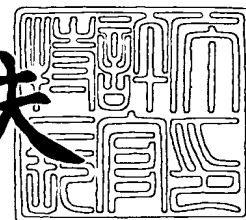
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 4 0 9 4 1 7
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 4 0 9 4 1 7]

出 願 人 T D K 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 4 年 1 月 2 1 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 99P06574
【提出日】 平成15年12月 8日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G11B 5/39
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 T D K株式会社内
 【氏名】 宮内 大助
【特許出願人】
 【識別番号】 000003067
 【氏名又は名称】 T D K株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100109656
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 三反崎 泰司
【代理人】
 【識別番号】 100098785
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 藤島 洋一郎
【先の出願に基づく優先権主張】
 【出願番号】 特願2003- 92842
 【出願日】 平成15年 3月28日
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 019482
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

磁気記録媒体からの信号磁界に応じて磁化方向が変化する感磁層を有し、前記磁気記録媒体の記録トラック幅方向に対応する第 1 の方向の幅が第 1 の幅をなすように延在する第 1 の積層部分と、

第 1 の反強磁性層を有し、前記第 1 の方向の幅が前記第 1 の幅よりも大きな第 2 の幅をなすように延在する第 2 の積層部分と

を備えた磁気抵抗効果膜と、

前記第 1 の方向において、前記第 1 の積層部分を挟むように前記第 1 の幅に対応する間隔で対向配置され、前記感磁層に縦バイアス磁界を印加する一対の第 1 の磁区制御部分と

前記第 1 の方向において、前記第 2 の積層部分を挟むように対向配置され、前記感磁層に縦バイアス磁界を印加する一対の第 2 の磁区制御部分と

を備えた一対の磁区制御膜と

を含むことを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項 2】

前記第 2 の積層部分が、さらに、前記第 1 の反強磁性層によって磁化方向が固定された第 1 の磁気固定層を有する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 3】

前記第 2 の幅が、前記第 1 の幅の 3 倍以上 10 倍以下である

ことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 4】

前記第 1 の幅が、 $0.05\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下であり、

前記第 2 の幅が、 $0.3\mu\text{m}$ 以上 $0.5\mu\text{m}$ 以下である

ことを特徴とする請求項 3 に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 5】

前記一対の第 1 の磁区制御部分が、前記第 1 の積層部分と接している

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 6】

前記第 1 の積層部分が、さらに、第 2 の反強磁性層と、この第 2 の反強磁性層によって磁化方向が固定された第 2 の磁気固定層とを有する

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 7】

前記磁気抵抗効果膜の厚み方向に対応する第 2 の方向において、

前記感磁層の厚みの中心が、前記一対の第 1 の磁区制御部分の厚みの中心と対応する位置にある

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 8】

さらに、前記第 2 の方向に沿って前記磁気抵抗効果膜および前記一対の磁区制御膜を挟むように対向配置され、前記磁気抵抗効果膜に第 2 の方向に電流を流すための電流経路となる第 1 および第 2 のシールド層を備え、

前記第 1 のシールド層は、前記第 2 の積層部分および前記一対の磁区制御膜と接しており、

前記第 2 のシールド層は、前記第 1 の積層部分と接すると共に、前記一対の磁区制御膜とは絶縁膜によって隔てられている

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 9】

前記第 2 のシールド層と前記第 1 の積層部分との第 1 の境界面は前記第 1 の方向に沿って平坦であり、

前記第2のシールド層と前記絶縁膜との第2の境界面は、前記第1の境界面を延長した面において、または、その延長した面よりも前記第1のシールド層に近い側において第1の方向に沿って延在している

ことを特徴とする請求項1から請求項8のいずれか1項に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項10】

前記一对の第1の磁区制御部分と前記第1の積層部分との間に、一对の中間絶縁膜が形成されていることを特徴とする請求項8または請求項9に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項11】

前記中間絶縁膜は、5 nm以上10 nm以下の厚みを有することを特徴とする請求項10に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項12】

前記第1の磁区制御部分の積層方向における厚みと前記第2の磁区制御部分の積層方向における厚みとの比が、以下の条件式(1)を満足するように構成されている

ことを特徴とする請求項1から請求項11のいずれか1項に記載の薄膜磁気ヘッド。

$$1/4 \leq T1/T2 \leq 2/3 \quad \dots\dots (1)$$

但し、

T1: 第1の磁区制御部分の積層方向における厚み

T2: 第2の磁区制御部分の積層方向における厚み

とする。

【請求項13】

前記第1の磁区制御部分の積層方向における厚みと前記第2の磁区制御部分の積層方向における厚みとの合計が500 nm以下である

ことを特徴とする請求項12に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項14】

前記一对の第1の磁区制御部分と前記一对の第2の磁区制御部分とは、互いに異なる保磁力を有する

ことを特徴とする請求項1から請求項11のいずれか1項に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項15】

前記一对の第1の磁区制御部分および一对の第2の磁区制御部分のうち、いずれか一方がコバルト白金合金(CoPt)を含む材料からなり、他方がコバルトクロム白金合金(CoCrPt)を含む材料からなる

ことを特徴とする請求項14に記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項16】

基体上に、所定形状の磁気抵抗効果膜と、磁気記録媒体の記録トラック幅方向に対応する第1の方向に沿って前記磁気抵抗効果膜を挟むように対向配置され、それぞれ第1および第2の磁区制御部分を有する一对の磁区制御膜と、前記磁気抵抗効果膜の厚み方向に対応する第2の方向において、前記磁気抵抗効果膜および一对の磁区制御膜を挟んで対向する第1および第2のシールド層とを備えた薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、

前記基体上に前記第1のシールド層を形成する第1シールド形成工程と、

この第1のシールド層の上に、前記第1のシールド層の側から反強磁性層と磁気固定層と感磁層とが順に配設された構造を含む多層膜を形成する多層膜形成工程と、

前記多層膜の上に、選択的に第1のレジストパターンを形成する第1レジストパターン形成工程と、

前記第1のレジストパターンをマスクとして利用し、前記多層膜を選択的にエッチングすることにより多層膜パターンを形成する多層膜パターン形成工程と、

全面に亘って強磁性膜を形成したのち、前記第1のレジストパターンを除去することにより前記第2の磁区制御部分を形成する第2の磁区制御部分形成工程と、

前記多層膜パターンの、記録トラック幅を規定する部分に対応する領域を保護するように選択的に第2のレジストパターンを形成する第2レジストパターン形成工程と、

前記第2のレジストパターンをマスクとして利用し、非保護領域における前記多層膜パ

ターンを、前記第2の方向において少なくとも前記感磁層の全てが除去されると共に前記第2の方向において前記反強磁性層の少なくとも一部が残るようにエッチングすることにより、前記第1の方向の幅が第1の幅をなす第1の積層部分と前記第1の方向の幅が前記第1の幅よりも大きな第2の幅をなす第2の積層部分とを備えた前記磁気抵抗効果膜の形成を完了する磁気抵抗効果膜形成工程と、

前記磁気抵抗効果膜形成工程においてエッチングされた領域に前記第1の磁区制御部分を形成することにより、前記一対の磁区制御膜の形成を完了する磁区制御膜形成工程と、

前記一対の磁区制御膜の上に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、

前記第2のレジストパターンを除去したのち、全面に亘って前記第2のシールド層を形成する第2シールド形成工程と

を含むことを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項17】

基体上に、所定形状の磁気抵抗効果膜と、磁気記録媒体の記録トラック幅方向に対応する第1の方向に沿って前記磁気抵抗効果膜を挟むように対向配置され、それぞれ第1および第2の磁区制御部分を有する一対の磁区制御膜と、前記磁気抵抗効果膜の厚み方向に対応する第2の方向において、前記磁気抵抗効果膜および一対の磁区制御膜を挟んで対向する第1および第2のシールド層とを備えた薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、

前記基体上に前記第1のシールド層を形成する第1シールド形成工程と、

この第1のシールド層の上に、前記第1のシールド層の側から第1の反強磁性層と第1の磁気固定層と感磁層と第2の磁気固定層と第2の反強磁性層とが順に配設された構造を含む多層膜を形成する多層膜形成工程と、

前記多層膜の上に、選択的に第1のレジストパターンを形成する第1レジストパターン形成工程と、

前記第1のレジストパターンをマスクとして利用し、前記多層膜を選択的にエッチングすることにより多層膜パターンを形成する多層膜パターン形成工程と、

全面に亘って強磁性膜を形成したのち、前記第1のレジストパターンを除去することにより前記第2の磁区制御部分を形成する第2の磁区制御部分形成工程と、

前記多層膜パターンの、記録トラック幅を規定する部分に対応する領域を保護するように選択的に第2のレジストパターンを形成する第2レジストパターン形成工程と、

前記第2のレジストパターンをマスクとして利用し、非保護領域における前記多層膜パターンを、前記第2の方向において少なくとも前記感磁層の全てが除去されると共に前記第2の方向において前記第1の反強磁性層の少なくとも一部が残るようにエッチングすることにより、前記第1の方向の幅が第1の幅をなす第1の積層部分と前記第1の方向の幅が前記第1の幅よりも大きな第2の幅をなす第2の積層部分とを備えた前記磁気抵抗効果膜の形成を完了する磁気抵抗効果膜形成工程と、

前記磁気抵抗効果膜形成工程においてエッチングされた領域に前記第1の磁区制御部分を形成することにより、前記一対の磁区制御膜の形成を完了する磁区制御膜形成工程と、

前記一対の磁区制御膜の上に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、

前記第2のレジストパターンを除去したのち、全面に亘って前記第2のシールド層を形成する第2シールド形成工程と

を含むことを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項18】

前記磁区制御膜形成工程において、スパッタリング法を用いて前記第2の磁区制御部分を形成すると共に、

前記絶縁膜形成工程において、スパッタリング法を用いて、前記第2の磁区制御部分を形成する場合よりも低い成膜角度で前記絶縁膜を形成する

ことを特徴とする請求項16または請求項17に記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項19】

前記磁区制御膜形成工程において、前記第1の磁区制御部分を形成する際に、前記第2の磁区制御部分と異なる保磁力を有する材料を用いると共に、

さらに、保磁力差を利用することにより、前記第 1 の磁区制御部分を前記感磁層の磁化容易軸方向に対応した磁化方向に着磁し、かつ、前記第 2 の磁区制御部分を、前記第 1 の磁区制御部分の磁化方向と異なる方向に着磁する工程を含む

ことを特徴とする請求項 1 8 から請求項 2 0 のいずれか 1 項に記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、巨大磁気抵抗効果を利用した薄膜磁気ヘッドに関し、例えば、磁気抵抗効果膜において積層方向に電流を流すように構成された薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、ハードディスクなどの磁気記録媒体の情報を再生するにあたっては、磁気抵抗(MR: Magnetoresistive)効果を示すMR素子を備えた薄膜磁気ヘッドが広く用いられている。近年では、磁気記録媒体の高記録密度化が進んでおり、巨大磁気抵抗(GMR: Giant Magnetoresistive)効果を示す巨大磁気抵抗効果素子(GMR素子)利用した薄膜磁気ヘッドが一般的である。このようなGMR素子としては、例えば、スピバルブ(SV: spin valve)型のGMR素子がある。

【0003】

このSV型のGMR素子は、非磁性層を介して、磁化方向が固定された磁性層と、磁化方向が外部からの信号磁界によって変化する磁性層とが積層された構造のSV膜を有しており、再生動作の際には、センス電流が積層面内方向に流れるように構成されている。このようなGMR素子は、特に、CIP(Current in Plane)-GMR素子と呼ばれる。この場合、SV膜の2つの磁性層における磁化方向の相対角度に応じてセンス電流の電気抵抗が変化するようになっている。

【0004】

最近では、さらなる記録密度の向上に対応するため、極薄の絶縁層の中を流れるトンネル電流を利用したトンネル磁気抵抗(TMR: Tunnel Magnetoresistance)効果素子を備えた薄膜磁気ヘッドの開発が進められている。このTMR素子は、2層の磁性層の間に極薄の絶縁層を設けた構造のTMR膜を有しており、再生動作の際には、センス電流が積層方向に流れるように構成されている。この場合には、極薄の絶縁層をトンネル電流が通過する際の電気抵抗が、外部からの信号磁界に応じて変化するようになっている。

【0005】

一方、このTMR素子と同様に、積層方向にセンス電流が流れるように構成されたCPP(Current Perpendicular to the Plane)-GMR素子を有する薄膜磁気ヘッドの開発も進められている(例えば、非特許文献1参照)。このような従来のCPP-GMR素子(MR素子110)の断面構成例を図20に示す。図20は、情報の読み出し対象となる磁気記録媒体と対向する記録媒体対向面から眺めた断面図である。図20に示したように、MR素子110は、金属の多層膜からなるSV膜120と、このSV膜120を、記録トラック幅方向に対応する方向(X方向)に挟んで対向するように配置された一対の磁区制御膜112と、これらSV120膜と一対の磁区制御膜112とを積層方向(Z方向)に沿って挟むように形成された下部シールド層111および上部シールド層114とを有している。SV膜120と一対の磁区制御膜112との間には、一対の絶縁層115が形成されている。さらに、上部シールド層114と一対の磁区制御膜112との間には、一対の絶縁層113が形成されている。SV膜120は、下部シールド層11の側から順に、下地層131、反強磁性層132、磁気固定層133、感磁層134および保護層135を備えている。磁気固定層133は、2つの強磁性層133A、133Cとの間に非磁性層133Bが形成された3層構造をなしており、反強磁性層132によって磁化方向が固定されている。感磁層134は、2つの非磁性層134A、134Cとの間に強磁性層133Bが形成された3層構造をなしている。この強磁性層134Bに対し、一対の磁区制御膜112が単磁区化するように作用する。

【0006】

図20に示したようなCPP-GMR素子は、TMR素子と比べて低抵抗であることや

、微小なトラック幅とした場合であってもCIP-GMR素子と比べて高出力が得られることなどの利点を有している。具体的には、TMR素子では、製造上の問題等によりトンネルバリア層にある程度の厚みを持たせざるを得ず、十分に小さな抵抗値Rが得られていない。一方、CIP-GMR素子では、面内方向にセンス電流を流すので、記録トラック幅方向に対応する方向の幅が狭くなるのに伴いセンス電流が通過する感磁部分が微小になり、抵抗変化量 ΔR が小さくなってしまう。ところがCPP-GMR素子では、積層方向にセンス電流を流すので、記録トラック幅方向の狭小化による抵抗変化量 ΔR に対する影響は少ない。また、TMR素子と異なり、SV膜の構成要素として絶縁材料を含まないので抵抗値Rが小さい。このような背景から、CPP-GMR素子は、さらなる記録密度の向上に対応可能なものとしての期待が高まっている。例えば、特許文献1に記載のCPP-GMR素子は、GMR膜のうち感磁層が含まれる部分をより狭小な幅としたものであり、より狭小な実効コア幅を実現したものである。

【非特許文献1】「ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス (Journal of Applied Physics)」, 第89巻 (Vol. 89), 第11号 (No. 11), p. 6943, 2001年

【特許文献1】特開2002-329905号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、上記特許文献1に記載のCPP-GMR素子は、SV膜のうちの感磁層を含む部分(上層体)と磁区制御膜との間に絶縁体を設けるようになっている。このため、感磁層に対する縦バイアス磁界の寄与が不十分となり、単磁区化が十分になされていないことが懸念される。すなわち、上記特許文献1の構成では、感磁層と磁区制御膜との距離が遠いので、磁区制御膜が発生する磁束が主に感磁層ではなく上下のシールド層を通過するようになり、感磁層に十分な縦バイアス磁界を印加できていないと考えられる。

【0008】

さらに、CPP-GMR素子は、抵抗変化量 ΔR に大きく寄与する部分の抵抗値に比べ、抵抗変化量 ΔR にあまり寄与しない部分の抵抗値が大きいので、比較的小さな磁気抵抗変化率(MR比ともいう。) $\Delta R/R$ しか得られず、改善が望まれている。また、CPP-GMR素子は、上下のシールド層(図20における下部シールド層111および上部シールド層114)が、SV膜に電流を流すためのリード層としての機能を兼ねているので、リード層が別途必要なCIP-GMR素子に比べ、本来は高記録密度化に有利である。ところが、例えば、図20に示したような従来のCPP-GMR素子では、絶縁層113が、SV膜120の上面120U(上部シールド層114との境界面)における両端部を一部覆っていると同時に、その上面113U(上部シールド層114との境界面)が上部シールド層114の側に盛り上がっているので、Z方向におけるギャップGを生じている。このため、上部シールド層114によるシールド効果が弱まってしまい、高密度化を妨げる要因となっていると考えられる。

【0009】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その第1の目的は、高記録密度化に対応しつつ、感磁層の単磁区化を良好に行うことのできる薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法を提供することにある。第2の目的は、さらに、より大きな抵抗変化率を発現することのできる薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の薄膜磁気ヘッドは、磁気記録媒体からの信号磁界に応じて磁化方向が変化する感磁層を有し、磁気記録媒体の記録トラック幅方向に対応する第1の方向の幅が第1の幅をなすように延在する第1の積層部分と、第1の反強磁性層を有し、第1の方向の幅が第1の幅よりも大きな第2の幅をなすように延在する第2の積層部分とを備えた磁気抵抗効果膜と、第1の方向において、第1の積層部分を挟むように第1の幅に対応する間隔で対

向配置され、感磁層に縦バイアス磁界を印加する一対の第1の磁区制御部分と、第1の方向において、第2の積層部分を挟むように対向配置され、感磁層に縦バイアス磁界を印加する一対の第2の磁区制御部分とを備えた一対の磁区制御膜とを含むようにしたものである。ここで、一対の第2の磁区制御部分が、第2の幅に対応する間隔で対向配置されていることが好ましい。

【0011】

本発明の薄膜磁気ヘッドでは、一対の第1の磁区制御部分が、感磁層を含んで第1の幅をなす第1の積層部分を第1の幅に対応する間隔で挟むように対向配置されるので、感磁層に隣接するように第1の磁区制御部分が設けられる。加えて、第1の幅よりも広い第2の幅をなす第2の積層部分を挟むように一対の第2の磁区制御部分が対向配置されるので、一対の第2の磁区制御部分と第1の積層部分における感磁層との適切な距離が確保される。また、仮に、磁気抵抗効果膜に対して厚み方向（第2の方向）に電流を流すように構成した場合には、磁気抵抗効果膜において、比抵抗が大きく、かつ、抵抗変化量にあまり寄与しない第2の積層部分における第2の幅が、第1の幅よりも広く確保されることにより、以下のような作用が得られる。すなわち、第2の積層部分における第2の幅が第1の幅よりも大きい分だけ第2の積層部分の抵抗値が減少し、ひいては磁気抵抗効果膜全体の抵抗値が減少する。一方、磁気抵抗効果膜全体の抵抗変化量は、第2の幅を第1の幅よりも大きくした場合であっても、第2の幅を第1の幅と同等とした場合と比べてほとんど差がみられない。したがって、感磁層を含む第1の積層部分における第1の幅がより狭い記録トラック幅に対応しつつ、大きな磁気抵抗変化率（抵抗変化量／抵抗値）が得られる。

【0012】

本発明の薄膜磁気ヘッドでは、第2の積層部分が、さらに、第1の反強磁性層によって磁化方向が固定された第1の磁気固定層を有すると共に、第1の積層部分が、さらに、第2の反強磁性層と、この第2の反強磁性層によって磁化方向が固定された第2の磁気固定層とを有するようにしてもよい。また、第2の幅が第1の幅の3倍以上10倍以下であることが望ましく、具体的には、第1の幅が $0.05\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下であり、第2の幅が $0.3\mu\text{m}$ 以上 $0.5\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。こうすることにより、高い記録密度を有する磁気記録媒体の再生に対応しつつ、感磁層に印加される縦バイアス磁界が、より平坦な強度分布となる。また、磁気抵抗効果膜の厚み方向に対応する第2の方向において、感磁層の厚みの中心が、一対の第1の磁区制御部分の厚みの中心と対応する位置にあることが望ましい。さらに、第2の方向に沿って磁気抵抗効果膜および一対の磁区制御膜を挟むように対向配置され、磁気抵抗効果膜に第2の方向に電流を流すための電流経路となる第1および第2のシールド層を備えるようにした場合には、第1のシールド層が第2の積層部分および一対の磁区制御膜と接し、第2のシールド層が第1の積層部分と接すると共に一対の磁区制御膜とは絶縁膜によって隔てられるようにすることが望ましい。

【0013】

さらに、本発明の薄膜磁気ヘッドでは、第2のシールド層と第1の積層部分との第1の境界面が第1の方向に沿って平坦であり、第2のシールド層と絶縁膜との第2の境界面が、第1の境界面を延長した面において、または、その延長した面よりも第1のシールド層に近い側において第1の方向に沿って延在するようにすることにより、磁気抵抗効果膜の厚みに対応する幅でピット長が規定され、より小さなPW50となる。

【0014】

また、本発明の薄膜磁気ヘッドでは、一対の第1の磁区制御部分と第1の積層部分との間に、一対の中間絶縁膜が形成されていてもよい。その場合、中間絶縁膜が 5nm 以上 10nm 以下の厚みを有することが望ましい。

【0015】

また、本発明の薄膜磁気ヘッドでは、第1の磁区制御部分の積層方向における厚みと第2の磁区制御部分の積層方向における厚みとの比が、以下の条件式(1)を満足するように構成されることが望ましい。但し、 T_1 が第1の磁区制御部分の積層方向における厚み

を表し、 T_2 が第2の磁区制御部分の積層方向における厚みを表す。この場合、例えば、第1の磁区制御部分の積層方向における厚みと第2の磁区制御部分の積層方向における厚みとの合計が500nm以下である。

$$1/4 \leq T_1/T_2 \leq 2/3 \quad \cdots (1)$$

【0016】

また、本発明の薄膜磁気ヘッドでは、一对の第1の磁区制御部分および一对の第2の磁区制御部分が、互いに異なる保磁力を有するようにすることができる。例えば、一对の第1の磁区制御部分および一对の第2の磁区制御部分のうち、いずれか一方がコバルト白金合金(CoPt)を含む材料からなり、他方がコバルトクロム白金合金(CoCrPt)を含む材料からなるようにしてもよい。この場合、一对の第1の磁区制御部分と一对の第2の磁区制御部分とが、互いに異なる磁化方向を有するようにすることができる。例えば、一对の第1の磁区制御部分が感磁層の磁化容易軸方向に対応する磁化方向を有し、一对の第2の磁区制御部分が一对の第1の磁区制御部分における磁化方向と直交する磁化方向を有するようにしてもよい。

【0017】

本発明の第1の観点における薄膜磁気ヘッドの製造方法は、基体上に、所定形状の磁気抵抗効果膜と、磁気記録媒体の記録トラック幅方向に対応する第1の方向に沿って磁気抵抗効果膜を挟むように対向配置され、それぞれ第1および第2の磁区制御部分を有する一对の磁区制御膜と、磁気抵抗効果膜の厚み方向に対応する第2の方向において、磁気抵抗効果膜および一对の磁区制御膜を挟んで対向する第1および第2のシールド層とを備えた薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、基体上に第1のシールド層を形成する第1シールド形成工程と、この第1のシールド層の上に、第1のシールド層の側から反強磁性層と磁気固定層と感磁層とが順に配設された構造を含む多層膜を形成する多層膜形成工程と、多層膜の上に、選択的に第1のレジストパターンを形成する第1レジストパターン形成工程と、第1のレジストパターンをマスクとして利用し、多層膜を選択的にエッチングすることにより多層膜パターンを形成する多層膜パターン形成工程と、全面に亘って強磁性膜を形成したのち、第1のレジストパターンを除去することにより第2の磁区制御部分を形成する第2の磁区制御部分形成工程と、多層膜パターンの、記録トラック幅を規定する部分に対応する領域を保護するように選択的に第2のレジストパターンを形成する第2レジストパターン形成工程と、第2のレジストパターンをマスクとして利用し、非保護領域における多層膜パターンを、第2の方向において少なくとも感磁層の全てが除去されると共に第2の方向において反強磁性層の少なくとも一部が残るようにエッチングすることにより、第1の方向の幅が第1の幅をなす第1の積層部分と第1の方向の幅が第1の幅よりも大きな第2の幅をなす第2の積層部分とを備えた磁気抵抗効果膜の形成を完了する磁気抵抗効果膜形成工程と、この磁気抵抗効果膜形成工程においてエッチングされた領域に第1の磁区制御部分を形成することにより、一对の磁区制御膜の形成を完了する磁区制御膜形成工程と、一对の磁区制御膜の上に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、第2のレジストパターンを除去したのち、全面に亘って第2のシールド層を形成する第2シールド形成工程とを含むようにしたものである。

【0018】

本発明の第2の観点における薄膜磁気ヘッドの製造方法は、基体上に、所定形状の磁気抵抗効果膜と、磁気記録媒体の記録トラック幅方向に対応する第1の方向に沿って磁気抵抗効果膜を挟むように対向配置され、それぞれ第1および第2の磁区制御部分を有する一对の磁区制御膜と、磁気抵抗効果膜の厚み方向に対応する第2の方向において、磁気抵抗効果膜および一对の磁区制御膜を挟んで対向する第1および第2のシールド層とを備えた薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、基体上に第1のシールド層を形成する第1シールド形成工程と、この第1のシールド層の上に、第1のシールド層の側から第1の反強磁性層と第1の磁気固定層と感磁層と第2の磁気固定層と第2の反強磁性層とが順に配設された構造を含む多層膜を形成する多層膜形成工程と、多層膜の上に、選択的に第1のレジストパターンを形成する第1レジストパターン形成工程と、第1のレジストパターンをマスク

として利用し、多層膜を選択的にエッチングすることにより多層膜パターンを形成する多層膜パターン形成工程と、全面に亘って強磁性膜を形成したのち、第1のレジストパターンを除去することにより第2の磁区制御部分を形成する第2の磁区制御部分形成工程と、多層膜パターンの、記録トラック幅を規定する部分に対応する領域を保護するように選択的に第2のレジストパターンを形成する第2レジストパターン形成工程と、第2のレジストパターンをマスクとして利用し、非保護領域における多層膜パターンを、第2の方向において少なくとも感磁層の全てが除去されると共に第2の方向において第1の反強磁性層の少なくとも一部が残るようにエッチングすることにより、第1の方向の幅が第1の幅をなす第1の積層部分と第1の方向の幅が第1の幅よりも大きな第2の幅をなす第2の積層部分とを備えた磁気抵抗効果膜の形成を完了する磁気抵抗効果膜形成工程と、この磁気抵抗効果膜形成工程においてエッチングされた領域に第1の磁区制御部分を形成することにより、一对の磁区制御膜の形成を完了する磁区制御膜形成工程と、一对の磁区制御膜の上に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、第2のレジストパターンを除去したのち、全面に亘って第2のシールド層を形成する第2シールド形成工程とを含むようにしたものである。

【0019】

本発明の第1および第2の観点における薄膜磁気ヘッドの製造方法では、それぞれ上記各工程を含むことにより、第1の方向において、感磁層を含んで第1の幅をなす第1の積層部分と、これよりも広い第2の幅をなし、抵抗変化量にあまり寄与しない第2の積層部分とを備えた磁気抵抗効果膜を形成するようにした。このため、第2の積層部分における第2の幅が第1の幅よりも大きい分だけ第2の積層部分の抵抗値が低減され、ひいては磁気抵抗効果膜全体の抵抗値が低減される。一方、磁気抵抗効果膜全体の抵抗変化量は、第2の幅を第1の幅よりも大きくした場合であっても、第2の幅を第1の幅と同等とした場合と比べてほとんど差がみられない。これらの結果、第1の積層部分における第1の幅がより狭い記録トラック幅に対応しつつ、大きな磁気抵抗変化率（抵抗変化量／抵抗値）が得られる。加えて、第2のレジストパターンをマスクとしてエッチングすることにより多層膜パターンにおける第2の方向の一部を除去した領域に、第1の磁区制御部分を形成するようにしたので、第1の積層部分に隣接するように第1の磁区制御部分が設けられる。さらに、第1のレジストパターンをマスクとしてエッチングすることによって多層膜を選択的に除去した領域に、第2の磁区制御部分を形成するようにしたので、第1の積層部分の感磁層と第2の磁区制御部分との適切な距離が確保される。

【0020】

また、本発明の第1および第2の観点における薄膜磁気ヘッドの製造方法では、磁区制御膜形成工程において、第1の磁区制御部分を形成する際に、第2の磁区制御部分と異なる保磁力を有する材料を用いると共に、さらに、保磁力差を利用することにより、第1の磁区制御部分を感磁層の磁化容易軸方向に対応した磁化方向に着磁し、かつ、第2の磁区制御部分を第1の磁区制御部分の磁化方向と異なる方向に着磁する工程を含むようにしてもよい。

【発明の効果】

【0021】

本発明の薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法によれば、一对の第1の磁区制御部分が、感磁層を含んで第1の幅をなす第1の積層部分を第1の幅に対応する間隔で挟むようにしたので、感磁層に隣接するように第1の磁区制御部分を設けることができる。加えて、第1の幅よりも広い第2の幅をなす第2の積層部分を挟むように一对の第2の磁区制御部分を対向配置することにより、第1の積層部分の感磁層との適切な距離を確保することができる。これにより、感磁層に対し、十分な強度と均一性とを併せ持つ縦バイアス磁界を印加することができる。よって、高記録密度化に対応しつつ、読出動作の安定性を確保することができる。

【0022】

特に、第1の幅を0.05 μm 以上0.1 μm 以下とし、第2の幅を0.3 μm 以上0

・ $5\mu\text{m}$ 以下とした場合、または、第1の磁区制御部分の積層方向における厚みと第2の磁区制御部分の積層方向における厚みとの比が所定の条件式(1)を満足するように構成した場合には、感磁層に印加される縦バイアス磁界の、第1の方向における均一性を向上しつつ、その強度についてもいっそう向上することができる。よって、感磁層の単磁区化を十分に促進でき、より安定した読出動作を確保することができる。

【0023】

また、特に、磁気抵抗効果膜の厚み方向に対応する第2の方向において、感磁層の厚みの中心を、一対の第1の磁区制御部分の厚みの中心と対応する位置とした場合には、より効果的に縦バイアス磁界を感磁層に印加することができ、十分に単磁区化を促進することができる。よって、より安定した読出動作を確保することができる。

【0024】

また、特に、第2の方向に沿って磁気抵抗効果膜および一対の磁区制御膜を挟むように対向配置し、磁気抵抗効果膜に第2の方向に電流を流すための電流経路となる第1および第2のシールド層を備えるようにした場合には、第1の方向に沿って、感磁層を含み実効トラック幅を規定する部分である第1の積層部分がなす第1の幅を狭くすると共に、比抵抗が大きく、かつ、抵抗変化量に寄与しない部分である第2の積層部分がなす第2の幅を第1の幅よりも広く確保することにより、磁気抵抗変化率を大きくすることができ、より狭い記録トラック幅を有する磁気記録媒体からの信号磁界を高感度に検出することができる。ここで、特に、第2のシールド層と第1の積層部分との第1の境界面が第1の方向に沿って平坦であり、第2のシールド層と絶縁膜との第2の境界面が、第1の境界面を延長した面において、または、その延長した面よりも第1のシールド層に近い側において第1の方向に沿って延在するようにした場合には、再生動作の際に第2のシールド層への磁束の回り込みを抑制することができ、より小さな値のPW50が得られ、より高い記録密度に対応可能となる。この上さらに、一対の第1の磁区制御部分と第1の積層部分との間に、一対の中間絶縁膜を形成するようにした場合には、読出動作の際、センス電流が第1の方向に広がることなく確実に第2の積層部分の幅に限定されて通過することとなるので、感磁層の磁化方向の変化によるセンス電流の抵抗変化を、より高感度に検出することができる。

【0025】

また、特に、一対の第1の磁区制御部分および一対の第2の磁区制御部分を、互いに異なる保磁力を有するように構成すれば、寸法や形状などの設計上の自由度が増し、磁気記録媒体の狭小な記録トラック幅に対応した実効トラック幅を確保しつつ、所望の磁界分布の形成を容易に行うことができる。

【0026】

また、本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法によれば、特に、一対の磁区制御膜の上に絶縁膜を形成する工程において、スパッタリング法を用いて、第2の磁区制御部分を形成する場合よりも低い成膜角度で絶縁膜を形成するようにした場合には、より確実に一対の磁区制御膜と第2のシールド層とを絶縁することができる。よって、より狭い実効トラック幅が確実に規定され、高記録密度化に対応可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0028】

[第1の実施の形態]

最初に、図1ないし図5を参照して、本発明の第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの構成について以下に説明する。

【0029】

図1は、本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッド1を備えたアクチュエータアーム2の構成を表すものである。このアクチュエータアーム2は、ハードディスク装置などで用いられるものであり、薄膜磁気ヘッド1を備えたスライダ2Aを有している。このスライダ2A

は、スライダ支持部 2 B の先端に搭載されており、このスライダ支持部 2 B は腕部 2 C に取り付けられている。腕部 2 C は、支軸 2 D により回転可能に支持され、例えば、ボイスコイルモータ（図示せず）の駆動力により回転するようになっている。このような構成により、スライダ 2 A がハードディスクなどの磁気記録媒体 3 の記録面（図 1 においては下側の面）に沿って、記録トラックを横切る方向（X 方向）に移動するようになっている。磁気記録媒体 3 は、例えば、X 方向に対してほぼ直交する方向（Z 方向）に回転するようになっている。このように、磁気記録媒体 3 の回転およびスライダ 2 A の移動により磁気記録媒体 3 に情報が記録され、または記録された情報が読み出されるようになっている。

【0030】

図 2 は、図 1 に示したスライダ 2 A の構成を表すものである。このスライダ 2 A は、例えば、アルティック（ $Al_2O_3 \cdot TiC$ ）よりなるブロック状の基体 2 E を有している。この基体 2 E は、例えば、ほぼ六面体状に形成されており、そのうちの一面が磁気記録媒体 3 の記録面に近接して対向するように配置されている。磁気記録媒体 3 の記録面と対向する面が記録媒体対向面（エアベアリング面ともいう。）2 F であり、磁気記録媒体 3 が回転すると、記録面と記録媒体対向面 2 F との間に生じる空気流に起因する揚力により、スライダ 2 A が記録面との対向方向（Y 方向）に沿って記録面から浮上し、記録媒体対向面 2 F と磁気記録媒体 3 との間に一定の隙間ができるようになっている。基体 2 E の記録媒体対向面 2 F に対する一側面には、薄膜磁気ヘッド 1 が設けられている。

【0031】

図 3 は、薄膜磁気ヘッド 1 の構成を分解して表す斜視図である。図 4 は、図 3 に示した I V - I V 線に沿った矢視方向の構造を表す断面図である。この薄膜磁気ヘッド 1 は、磁気記録媒体 3 に記録された磁気情報を再生する再生ヘッド部 1 A と、磁気記録媒体 3 の記録トラックに磁気情報を記録する記録ヘッド部 1 B とが一体に構成されたものである。

【0032】

図 3 および図 4 に示したように、再生ヘッド部 1 A は、積層方向にセンス電流が流れるように構成された CPP（Current Perpendicular to the Plane）-GMR（Giant Magnetoresistive）構造をなしたものであり、例えば基体 2 E の上に、磁気抵抗効果素子（以下、MR 素子という。）10 と、それを覆う絶縁層 16 とを配設したものである。MR 素子 10 は、基体 2 E の側から下部シールド層 11 と、磁気抵抗効果膜（以下、MR 膜という。）20 および一対の磁区制御膜 12 と、絶縁膜 13 と、上部シールド層 14 とが順に積層された構造を有している。下部シールド層 11 および上部シールド層 14 は、例えば、厚みがそれぞれ $1\mu m \sim 3\mu m$ であり、ニッケル鉄合金（NiFe）などの磁性金属材料によりそれぞれ構成されている。これら下部シールド層 11 および上部シールド層 14 は、MR 膜 20 に不要な磁界の影響が及ばないようにするためのものであり、MR 膜 20 に対して積層方向（Z 方向）に電流を流す電流経路としての機能も有している。MR 膜 20 は、磁性材料を含む多層構造をなすスピンバルブ（SV）型の MR 膜であり、磁気記録媒体 3 に記録された情報を読み出す機能を有するものである。一対の磁区制御膜 12 は、磁気記録媒体 3 の記録トラック幅方向に対応する方向（X 方向）に沿って MR 膜 20 を挟んで対向するように配置されており、パッド 12 R、12 L に接続されている。再生ヘッド部 1 A では、磁気記録媒体 3 からの信号磁界に応じて MR 膜 20 の電気抵抗が変化することを利用して、記録情報を読み出すようになっている。この MR 膜 20 および磁区制御膜 12 の詳細な構成については後述する。絶縁膜 13 および絶縁層 16 は、例えば厚みがそれぞれ $10nm \sim 100nm$ であり、酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）または窒化アルミニウム（AlN）などの絶縁材料によりそれぞれ構成されている。絶縁膜 13 は、主に、下部シールド層 11 と上部シールド層 14 とを電氣的に絶縁するためのものであり、絶縁層 16 は、再生ヘッド部 1 A と記録ヘッド部 1 B とを電氣的に絶縁するものである。

【0033】

続いて、記録ヘッド部 1 B の構成について説明する。図 3 および図 4 に示したように、記録ヘッド部 1 B は、再生ヘッド部 1 A の絶縁層 16 の上に形成されており、下部磁極 41 と、記録ギャップ層 42、ポールチップ 43、コイル 44、絶縁層 45、連結部 46 お

よび上部磁極 47 を有している。

【0034】

下部磁極 41 は、例えば、NiFe などの磁性材料よりなり、絶縁層 16 の上に形成されている。記録ギャップ層 42 は、 Al_2O_3 などの絶縁材料よりなり、下部磁極 41 の上に形成されている。この記録ギャップ層 42 は、XY 平面におけるコイル 44 の中心部に対応する位置に、磁路形成のための開口部 42A を有している。記録ギャップ層 42 の上には、記録媒体対向面 2F の側から順に、ポールチップ 43、絶縁層 45 および連結部 46 が同一平面内に形成されている。絶縁層 45 にはコイル 44 が埋設されている。コイル 44 は、記録ギャップ層 42 上に開口部 42A を中心とするように形成されており、例えば銅 (Cu) または金 (Au) により構成されたものである。なお、コイル 44 の両端末はそれぞれ電極 44S、44E に接続されている。上部磁極 47 は、例えば、NiFe などの磁性材料よりなり、記録ギャップ層 42、ポールチップ 43、絶縁層 45 および連結部 46 の上に形成されている。この上部磁極 47 は、開口部 42A を介して下部磁極 41 と接触しており、磁氣的に連結している。なお、図示しないが、 Al_2O_3 などからなるオーバーコート層が記録ヘッド部 1B の上面全体を覆うように形成されている。

【0035】

このような構成を有する記録ヘッド部 1B は、コイル 44 に流れる電流により、主に下部磁極 41 と上部磁極 47 とによって構成される磁路内部に磁束を生じ、記録ギャップ層 42 の近傍に生ずる信号磁界によって磁気記録媒体 3 を磁化し、情報を記録するようになっている。

【0036】

次に、図 5 を参照して、本実施の形態の薄膜磁気ヘッド 1 における MR 素子 10A を構成する MR 膜 20 および磁区制御膜 12 の詳細な構成について以下に説明する。図 5 は、図 4 の薄膜磁気ヘッド 1 の、V 矢視方向から眺めた構造を表す断面図である。

【0037】

図 5 に示したように、MR 膜 20 は、下部シールド層 11 の側から順に下層部分 20A と上層部分 20B とを備えている。上層部分 20B は、磁気記録媒体 3 からの信号磁界に応じて磁化方向が変化する感磁層 34 を有し、磁気記録媒体 3 の記録トラック幅方向に対応する X 方向の幅が第 1 の幅 W1 をなすように延在している。一方、下層部分 20A は、反強磁性層 32 を有し、X 方向の幅が第 1 の幅 W1 よりも大きな第 2 の幅 W2 をなすように延在している。ここで、上層部分 20B が、本発明における「第 1 の積層部分」の一具体例に対応し、一方の、下層部分 20A が、本発明における「第 2 の積層部分」の一具体例に対応する。また、X 方向が、本発明における「第 1 の方向」の一具体例に対応する。さらに、反強磁性層 32 が、本発明における「第 1 の反強磁性層」の一具体例に対応する。なお、上層部分 20B および下層部分 20A は、それぞれ端面 S20B および端面 S20A が X 方向に対して垂直に形成されていることが最も好ましい。ここでは、第 1 の幅 W1 が感磁層 34 の平均的な幅を示し、第 2 の幅 W2 が反強磁性層 32 の平均的な幅を示すものとする。

【0038】

下層部分 20A は、下部シールド層 11 の上に、下地層 31、反強磁性層 32 および磁気固定層 33 がこの順に形成された構造を有している。下地層 31 は、例えば、5 nm の厚みを有するタンタル (Ta) 等からなるものである。反強磁性層 32 は、例えば、白金マンガン合金 (PtMn) またはイリジウムマンガン合金 (IrMn) 等の反強磁性を示す材料により構成され、磁気固定層 33 の磁化方向を固定する、いわゆるピンニング層として機能するものである。さらに、磁気固定層 33 は、シンセティック構造をなしており、例えば、コバルト鉄合金 (CoFe) などからなる 2 つの強磁性層 33A、33C の間に銅または金などからなる非磁性層 33B が形成された 3 層構造となっている。この磁気固定層 33 では、強磁性層 33A、33C の磁化方向が反強磁性層 32 によって固定されている。ここで、磁気固定層 33 が、本発明における「第 1 の磁気固定層」の一具体例に対応する。

【0039】

上層部分20Bは、磁気固定層33上の、X方向におけるほぼ中央部に形成され、下層部分20Aの側から順に感磁層34と保護層35とを備えている。感磁層34は、銅などからなる非磁性34A、34Cの間にCoFeなどからなる強磁性層34Bが形成された3層構造をなしている。非磁性34A、34Cおよび強磁性層34Bの厚みは、例えば、いずれも3nmである。この感磁層34における強磁性層34Bが、磁気記録媒体3からの信号磁界によって磁化の向きが変化するようにになっている。さらに、保護層35は、例えば、5nmの厚みを有する銅により構成される。

【0040】

磁区制御膜12は、下部シールド層11の側から順に、第2の磁区制御部分121と第1の磁区制御部分122とを備えている。第2の磁区制御部分121は、X方向において、下層部分20Aを挟むように第2の幅W2に対応する間隔で対向配置され、上層部分20Bにおける感磁層34に縦バイアス磁界を印加するようになっている。一方、第1の磁区制御部分122は、X方向において、上層部分20Bを挟むように第1の幅W1に対応する間隔で対向配置され、感磁層34に縦バイアス磁界を印加するように構成されている。MR素子10Aでは、第1の磁区制御部分122が上層部分20Bと接するように構成されている。

【0041】

より詳細には、第2の磁区制御部分121は、下層部分20Aの端面S20Aと下部シールド層11とを覆うように形成された下地層121Aと、その上に形成された磁区制御層121Bとを有している。第1の磁区制御部分122は、上層部分20Bの端面S20Bと下層部分20Aと第2の磁区制御部分121とを覆うように形成された下地層122Aと、その上に形成された磁区制御層122Bとを有している。下地層121A、122Aは、例えば、クロムチタン合金(CrTi)からなり、後述する製造プロセスにおいて、それぞれ磁区制御層121B、122Bの成長性を向上させるように機能する。なお、下層部分20Aの端面S20Aを覆っている部分の下地層121Aと、上層部分20Bの端面S20Bを覆っている部分の下地層122Aとは、いずれもできるだけ厚みを薄くすることが望ましい。特に、端面S20Aおよび端面S20Bを、下地層121Aおよび下地層122Aによって全く覆わないようにすることが、より好ましい。磁区制御層121B、122Bは、例えば、コバルト白金合金(CoPt)などからなり、感磁層34における強磁性層34Bの磁区の向きを揃えるように単磁区化を促進し、バルクハウゼンノイズの発生を抑制するように機能する。

【0042】

また、MR素子10Aでは、第2の幅W2が、第1の幅W1の3倍以上10倍以下であることが望ましく、特に、第1の幅W1が、 $0.05\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下であり、第2の幅W2が、 $0.3\mu\text{m}$ 以上 $0.5\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。このような数値範囲に収めることにより、高い記録密度を有する磁気記録媒体の情報読出に対応可能となるうえ、感磁層34に印加される縦バイアス磁界を、X方向においてより平坦な強度分布とすることができるからである。この場合、第2の幅W2を $0.3\mu\text{m}$ 未満とすることは製造上困難であるうえ、仮に製造可能であっても $0.3\mu\text{m}$ 未満ではX方向における強度分布の均一性が失われてしまう。一方、 $0.5\mu\text{m}$ を超えるような第2の幅W2にすると、磁界の強さを効果的に向上させることが困難となってしまう。

【0043】

さらに、第1の磁区制御部分122の積層方向における厚みと第2の磁区制御部分121の積層方向における厚みとの比が、以下の条件式(1)を満足するように構成されることが望ましい。但し、T1は第1の磁区制御部分の積層方向における厚みであり、T2は第2の磁区制御部分の積層方向における厚みを表す。

$$1/4 \leq T1/T2 \leq 2/3 \quad \cdots (1)$$

このような数値範囲に収めることにより、感磁層34に印加される縦バイアス磁界の、X方向における均一性を向上しつつ、その強度についても向上することができる。条件式

(1) の下限を下回った場合には、感磁層 34 の単磁区化を促進するのに十分な強度の縦バイアス磁界を印加することが困難である。一方、上限を上回った場合には、X 方向の磁界分布における平坦な部分を十分に確保することが困難となる。この場合、特に、厚み T_1 と厚み T_2 との合計が 500 nm 以下であることが望ましい。

【0044】

加えて、MR 膜 20 の厚み方向 (Z 方向) において、感磁層 34 の厚みの中心が、第 1 の磁区制御部分 122 の厚みの中心と対応する位置にあることが望ましい。こうすることにより、より効果的に縦バイアス磁界を感磁層 34 に印加することができ、十分に単磁区化を促進することができる。ここで、Z 方向が、本発明における「第 2 の方向」の一具体例に対応するものである。

【0045】

ここで、下部および上部シールド層 11, 14 と、MR 膜 20 との構成について、さらに説明を加える。図 5 に示したように、下部および上部シールド層 11, 14 は、Z 方向に沿って MR 膜 20 および一对の磁区制御膜 12 を挟むように対向配置されており、磁気記録媒体 3 の磁気情報を読み出す際には、MR 膜 20 に対して Z 方向にセンス電流を流すための電流経路として機能する。すなわち、下部シールド層 11 が、下層部分 20A および一对の磁区制御膜 12 と接しており、一方の上部シールド層 14 が、上層部分 20B と接すると共に、一对の磁区制御膜 12 とは絶縁膜 13 によって隔てられている。絶縁膜 13 の X 方向の間隔は、第 1 の幅 W_1 と一致している。また、上部シールド層 14 と上層部分 20B との境界面 20U が、X 方向に沿って平坦であり、上部シールド層 14 と一对の絶縁膜 13 との一对の境界面 13U が、境界面 20U の延長した面上に延在するようになっている。

【0046】

次に、このように構成された MR 素子 10A および薄膜磁気ヘッド 1 の再生動作について、図 3 ないし図 5 を参照して説明する。

【0047】

この薄膜磁気ヘッド 1 では、再生ヘッド部 1A により磁気記録媒体 3 に記録された情報を読み出す。記録情報を読み出す際には、記録媒体対向面 2F が磁気記録媒体 3 の記録面と対向しており、この状態で、磁気記録媒体 3 からの信号磁界が MR 膜 20 に到達する。この際、MR 膜 20 には予め、下部シールド層 11 および上部シールド層 14 を介して積層方向 (Z 方向) にセンス電流が流されている。すなわち、MR 膜 20 の内部を、下地層 31、反強磁性層 32、磁気固定層 33、感磁層 34 および保護層 35 の順に、あるいは、その逆の順にセンス電流が流されている。MR 膜 20 においては、信号磁界によって磁化方向が変化する感磁層 34 と、反強磁性層 32 によって磁化方向がほぼ一定方向に固定され、信号磁界の影響を受けない磁気固定層 33 との間で、相対的な磁化の向きが変化する。その結果、伝導電子のスピン依存散乱の変化が起こり、MR 膜 20 の電気抵抗に変化が生じる。この電気抵抗の変化はセンス電流の変化をもたらし、この電流変化を検知することにより、磁気記録媒体 3 の記録情報を読み出すようになっている。

【0048】

続いて、本実施の形態の薄膜磁気ヘッド 1 における作用を説明する。

【0049】

上記したように、従来の CPP-GMR 素子は、他の MR 素子に比べて磁気抵抗変化率 (MR 比) $\Delta R/R$ が小さく、改善が望まれていた。MR 比 $\Delta R/R$ を大きくするためには、抵抗変化量 ΔR を増加させるほか、MR 素子全体の抵抗値 R を低減する方法が考えられる。MR 膜を積層方向に流れるセンス電流の抵抗値を低減するには、単純に MR 膜の形成面積を増加する方法も考えられるが、この方法では高記録密度化に伴う記録トラック幅の狭小化には対応できなくなる。これに対し、本実施の形態の MR 素子 10A を備えた薄膜磁気ヘッド 1 によれば、記録トラック幅の狭小化に対応できるうえ、抵抗変化量 ΔR を減少させることなく、抵抗変化量 ΔR の増加に寄与しない部分の抵抗値 R を低減することができる。具体的には、感磁層 34 を有する上層部分 20B が第 1 の幅 W_1 をなし、より

小さな実効トラック幅を規定することで、より高記録密度化した記録トラック幅に対応すると共に、抵抗変化量 ΔR の増加にあまり寄与しないという比抵抗の大きい反強磁性層32を有する下層部分20Aが、感磁層34の幅に相当する第1の幅W1よりも大きな第2の幅W2をなすことにより、MR素子全体の抵抗値Rをいっそう低減することができる。このため、MR比 $\Delta R/R$ を大きくすることができ、信号磁界をより高感度に検出することが可能となる。ここで、高密度記録化とは、PW50およびMRWuをより小さくするということを意味する。PW50とは、再生波形ピークの半値幅であり、磁気記録媒体における円周方向の記録密度(BPI: Bit Per Inch)と密接な関係がある。MRWuとは、記録トラック密度(TPI: Track Per Inch)に関連するパラメータである。

【0050】

さらに、一对の磁区制御膜12を、上層部分20Bの第1の幅W1に対応した相互間隔を有する一对の第1の磁区制御部分122と、下層部分20Aの第2の幅W2に対応した相互間隔を有する一对の第2の磁区制御部分121とに分けることにより、感磁層34と一对の第1の磁区制御部分122との距離を近づけることができ、X方向に沿って十分な均一性を示す縦バイアス磁界を印加することができる。また、一对の第1の磁区制御部分122と比べて、感磁層34からの距離が遠い一对の第2の磁区制御部分121に適切な厚みを持たせることにより、感磁層34に対し、より強い縦バイアス磁界を印加することができる。

【0051】

また、上部シールド層14が、上層部分20Bと接すると共に一对の磁区制御膜12とは絶縁膜13によって隔てられており、この絶縁膜13のX方向の間隔が第1の幅W1と一致しているので、センス電流が第1の幅W1を有するMR膜20の上層部分20Bを通過することとなり、第1の幅W1に対応した実効トラック幅が規定される。さらに、上部シールド層14と上層部分20Bとの境界面20Uが、X方向に沿って平坦であり、上部シールド層14と一对の絶縁膜13との一对の境界面13Uが、境界面20Uを延長した面に沿って、すなわち、同一面内において延在するようにした。図20に示した従来のMR素子110のようにZ方向におけるギャップGがある場合には、再生動作の際に信号磁界による磁束が上部シールド層114へ回り込んでしまうので、PW50が大きくなってしまう。ところが本実施の形態のMR素子10Aによれば、境界面13Uと境界面20Uとが同一面内に存在し、Z方向におけるMR膜20とは反対側にギャップが存在しない。このため、MR膜20の厚みに対応する幅でビット長が規定され、より小さなPW50が得られる。この場合、同一面内に存在する場合に限らず、一对の境界面13Uが、境界面20Uの延長した面よりも下部シールド層11に近い側においてX方向に沿って延在するようにした場合であっても、上記の効果は得られる。ここで、境界面20Uが、本発明の「第1の境界面」に対応する一具体例であり、境界面13Uが、本発明の「第2の境界面」に対応する一具体例である。

【0052】

以上のように、本実施の形態の薄膜磁気ヘッド1によれば、X方向に沿って、MR膜20のうちの感磁層34を含む上層部分20Bの第1の幅W1を狭めつつ、MR膜20における抵抗変化量 ΔR に寄与しない部分である下層部分20Aの第2の幅W2を広く確保するようにした。こうすることにより、下層部分20Aにおける第2の幅W2が第1の幅W1よりも大きい分だけ下層部分20Aの抵抗値を低減することができるので、MR膜20全体の抵抗値Rを低減することができる。一方、MR膜20全体の抵抗変化量 ΔR は、第2の幅W2を第1の幅W1よりも大きくした場合であっても、第2の幅W2を第1の幅W1と同等とした場合と比べてほとんど差がみられない。これらの結果、上層部分20Bにおける第1の幅W1をより狭小な記録トラック幅に対応させつつ、MR比を大きくすることができる。よって、より狭い記録トラック幅をなす磁気記録媒体3から情報を高感度に読み出すことができる。さらに、第1の磁区制御部分122が、第1の幅W1に対応して上層部分20Bを挟むようにしたので、上層部分20Bに隣接するように第1の磁区制御部分122を設けることができる。加えて、下層部分20Aを挟むように一对の第2の磁

区制御部分 121 を対向配置することにより、上層部分 20B の感磁層 34 との適切な距離を確保することができる。これにより、感磁層 34 に対し、十分な強度と均一性とを併せ持つ縦バイアス磁界を印加することができる。この結果、全体に亘って感磁層 34 の単磁区化がより促進されるので、より安定した読出動作を行うことができる。加えて、境界面 20U と一対の境界面 13U とが同一平面上となるように構成したので、信号磁界による磁束が上部シールド層 14 へ回り込むのを抑制することができる。この結果、より微小な長さのビット長が規定され、主に PW50 が改善されるので、より高い記録密度に対応可能となる。

【0053】

続いて、図 3 ないし図 12 を参照して、薄膜磁気ヘッド 1 の製造方法について説明する。ここでは、主に MR 素子 10A を形成する部分について詳細に説明する。

【0054】

本実施の形態に係る製造方法は、基体 2E 上に下部シールド層 11 を形成する工程と、この下部シールド層 11 の上に、下部シールド層 11 の側から反強磁性層 32 と磁気固定層 33 と感磁層 34 とが順に配設された構造を含む多層膜 201 を形成する工程と、この多層膜 201 の上に、選択的にフォトレジストパターン 41A を形成する工程と、このフォトレジストパターン 41A をマスクとして利用し、多層膜 201 を選択的にエッチングすることにより多層膜パターン 202 を形成する工程と、全面に亘って強磁性膜を形成したのち、フォトレジストパターン 41A を除去することにより第 2 の磁区制御部分 121 を形成する工程と、多層膜パターン 202 の、記録トラック幅を規定する部分に対応する領域を保護するように選択的にフォトレジストパターン 41B を形成する工程と、このフォトレジストパターン 41B をマスクとして利用し、非保護領域における多層膜パターン 202 を、Z 方向において少なくとも感磁層 34 の全てが除去されると共に第 Z 方向において反強磁性層 32 の少なくとも一部が残るようにエッチングすることにより、X 方向の幅が第 1 の幅 W1 をなす上層部分 20B と X 方向の幅が第 1 の幅 W1 よりも大きな第 2 の幅 W2 をなす下層部分 20A とを備えた MR 膜 20 の形成を完了する工程と、この MR 膜 20 の形成を完了する工程においてエッチングされた領域に第 1 の磁区制御部分 122 を形成することにより、一対の磁区制御膜 12 の形成を完了する工程と、この一対の磁区制御膜 12 の上に絶縁膜 13 を形成する工程と、フォトレジストパターン 41B を除去したのち、全面に亘って上部シールド層 14 を形成する工程とを含むものである。以下、各工程について、より詳細に説明する。

【0055】

まず、図 6 に示したように、基体 2E の一側面上に形成された下部シールド層 11 上に全面に亘って多層膜 201 を形成する。具体的には、スパッタリング等を用いて、下地層 31、反強磁性層 32、被固定層 33、非磁性層 34、磁気感受層 35 および保護層 36 とを順に積層する。この多層膜 201 は、最終的に MR 膜 20 となるものである。なお、図 6 ～ 図 12 においては、MR 膜 20 ならびにその形成過程における多層膜 201 および多層膜パターン 202（後出）の内部構造については図示を省略するが、いずれも上記した図 5 に示した MR 膜 20 と対応する内部構造を有している。

【0056】

続いて、図 7 に示したように、多層膜 201 の上に、下層部分 20A の第 2 の幅 W2 に対応する幅をなすように選択的にフォトレジストパターン 41A を形成する。この場合、所定の溶剤を使用してフォトレジストパターン 41A の端部を一部除去し、アンダーカットを形成するようにしてもよい。

【0057】

こののち、多層膜 201 を、例えば、イオンミリングや RIE 等のドライエッチングによりフォトレジストパターン 41A をマスクとして利用して選択的に除去する。この場合、下部シールド層 11 に達するまでドライエッチングを行う。これにより、図 8 に示したように、第 2 の幅 W2 を有する多層膜パターン 202 が形成される。ここで、第 2 の幅 W2 とは、反強磁性層 32 における平均的な X 方向の幅を指す。多層膜パターン 202 を形

成したのち、これをX方向に挟んで両側に隣接するように一对の第2の磁区制御部分121を形成する。具体的には、例えば、スパッタリング等により、全面に亘って、のちに下地層121Aおよび磁区制御層121Bとなる多層の強磁性膜を形成する。次いで、フォトレジストパターン41Aをリフトオフすることにより、多層膜パターン202と、これを挟んで対向する下地膜121Aおよび磁区制御層121Bからなる一对の第2の磁区制御部分121とが現れる。この場合、下地膜121Aは、ドライエッチングによって多層膜パターン202の両側に露出した下部シールド層11の上面を少なくとも覆うようにすればよく、むしろ、多層膜パターン202の端面を可能な限り覆わないようにすることが望ましい。

【0058】

次いで、図9に示したように、多層膜パターン202の上にフォトレジストパターン41Bを形成する。この場合、多層膜パターン202のX方向における中央部分に形成することが望ましい。こののち、図10に示したように、フォトレジストパターン41Bをマスクとして利用し、非保護領域における多層膜パターン202の一部をエッチングすることにより、X方向の幅が第1の幅W1をなす上層部分20BとX方向の幅が第1の幅W1よりも大きな第2の幅W2をなす下層部分20Aとを備えたMR膜20の形成を完了する。すなわち、この場合、下部シールド層11に達するまでエッチングせずに、磁気固定層33における強磁性層33Cの上面に達する位置でエッチングを止めるようにする。このエッチングをおこなう工程では、少なくとも感磁層34を完全に除去することが重要であると共に、できるだけ反強磁性層32を除去しないようにすることも重要である。なお、第2の磁区制御部分121は、上層部分20Bに対応する深さまで除去される。ここで、第1の幅W1とは、感磁層34における平均的なX方向の幅を指す。

【0059】

MR膜20の形成が完了したのち、図11に示したように、MR膜20の形成を完了する工程においてエッチングされた領域に、スパッタリング等により下地層122Aと磁区制御層122Bとを積層することにより第1の磁区制御部分122を形成し、さらに、この第1の磁区制御部分122の上に、スパッタリングにより絶縁膜13を形成する。ここで、絶縁膜13の上面（境界面13U）が、積層方向においてMR膜20の上面（境界面20U）と同じ高さ、あるいは境界面20Uよりも低い位置となるようにすることが望ましい。これにより、再生動作の際に信号磁界の磁束が上部シールド層14へ回り込むのを抑制することができ、MR膜20の厚みに対応する幅でビット長が規定され、より小さなPW50が得られるからである。また、第1の磁区制御部分122を形成する場合よりも低い成膜角度で絶縁膜13を形成することが望ましい。こうすることで、より確実に一对の磁区制御膜12を覆うことができるからである。

【0060】

最後に、フォトレジストパターン41Bを除去したのち、図12に示したように、全面に亘って上部シールド層14を形成する。これにより、MR素子10Aが一応完成する。

【0061】

こののち、図3および図4に示したように、全面に亘って絶縁層16を形成することにより、再生ヘッド部1Aが一応完成する。続いて、再生ヘッド部1Aの上に、下部磁極41と記録ギャップ層42とを順に形成し、記録ギャップ層42の上に選択的にコイル44を形成する。こののち、記録ギャップ層42の一部をエッチングすることにより開口部42Aを形成する。次いで、コイル44を覆うように絶縁層45を形成し、さらに、ポールチップ43および連結部分46を順次形成する。最後に全体を覆うように上部磁極47を形成することにより記録ヘッド部1Bが一応完成する。こののち、例えば、スライダ2Aを機械加工して記録媒体対向面2Fを形成するなど、所定の工程を経ることにより、薄膜磁気ヘッド1が完成する。

【0062】

以上のように、本実施の形態の薄膜磁気ヘッドの製造方法によれば、上記各工程を含むことにより、X方向において、より狭小な第1の幅W1を有する上層部分20Bと、これ

よりも広い第2の幅W2を有する下層部分20Aとを備えたMR膜20を形成することができるので、より狭い記録トラック幅の磁気記録媒体3からの情報読み出しに対応可能となる。さらに、上層部分20Bの第1の幅W1に対応した一对の第1の磁区制御部分122と、下層部分20Aの第2の幅W2に対応した一对の第2の磁区制御部分121とを備えた一对の磁区制御膜12を形成できるので、感磁層34に対し、十分な縦バイアス磁界を印加することができる。

【0063】

また、本実施の形態の薄膜磁気ヘッドの製造方法では、一对の磁区制御膜12の上に絶縁膜13を形成する工程において、スパッタリング法を用いて、第1の磁区制御部分122を形成する場合よりも低い成膜角度で絶縁膜13を形成するようにしたので、より確実に一对の磁区制御膜12と上部シールド層14とを絶縁することができる。よって、より狭い実効トラック幅が確実に規定され、高記録密度化に対応可能となる。

【0064】

<第1の変形例>

次に、図13を参照して、本実施の形態の薄膜磁気ヘッド1におけるMR素子10Aの第1の変形例(変形例1)について説明する。

【0065】

図13は、本実施の形態のMR素子10Aにおける変形例1としてのMR素子10Bの断面構成を表すものであり、本実施の形態における図5に対応している。本実施の形態のMR素子10Aは、一般に、シングルSV構造と呼ばれるものであり、1つの感磁層に対し、1つの反強磁性層および磁気固定層が対応するように構成したものである。これに対し、本変形例のMR素子10Bは、一般に、デュアルSV構造と呼ばれるものであり、図13に示したように、上層部分に別の反強磁性層および磁気固定層を設け、1つの感磁層に対し、2つの反強磁性層および磁気固定層が対応するように構成したものである。

【0066】

具体的には、図13に示したように、本変形例のMR素子10BにおけるMR膜50は、下部シールド層11の側から順に、反強磁性層32を有すると共にX方向の幅が第2の幅W2をなすように延在する下層部分50Aと、感磁層34を有すると共にX方向の幅が第1の幅W1をなすように延在する上層部分50Bとを備えている。

【0067】

下層部分50Aは、下部シールド層11の上に、下地層31、反強磁性層32および磁気固定層33がこの順に形成された構造を有している。一方、上層部分50Bは、下層部分50Aの側から順に感磁層34と、第2の磁気固定層としての磁気固定層37と、第2の反強磁性層としての反強磁性層38と、保護層35とを備えている。反強磁性層38は反強磁性層32と同様に、例えば、PtMnまたはIrMn等の反強磁性を示す材料により構成され、磁気固定層37の磁化方向を固定するように機能する。さらに、磁気固定層37は、磁気固定層33と同様にシンセティック構造をなしており、例えば、CoFeなどからなる2つの強磁性層37A、37Cの間に銅または金などからなる非磁性層37Bが形成された3層構造となっている。この磁気固定層37では、強磁性層33A、33Cの磁化方向が反強磁性層38によって固定されている。

【0068】

このようなデュアルSV構造をなすMR素子10Bを備えた薄膜磁気ヘッド1では、以下のようにして記録情報の読出をおこなう。MR膜50では、信号磁界によって磁化方向が変化する感磁層34と、磁化方向が信号磁界の影響を受けない2つの磁気固定層33、37との間で、相対的な磁化の向きが変化的な変化が生じるようになっている。これに伴うセンス電流の変化を検知することにより、記録情報の読み出しをおこなう。

【0069】

上記した本変形例のMR素子10Bを備えた薄膜磁気ヘッドによれば、シングルSV構造のMR素子10Aを備えた場合よりも、より大きな抵抗変化量 ΔR が得られる。但し、

第1の幅W1をなし、比較的、比抵抗の大きな反強磁性層38が上層部分50Bに含まれているので、シングルSV構造のMR素子10Aの場合よりもMR素子全体の抵抗値Rは大きくなる。しかし、デュアルSV構造において、感磁層および2つの反強磁性層が全て同一の幅を有するようにした場合よりも、本変形例のMR素子10Bの構成とした場合のほうが、より高密度化された磁気記録媒体3からの情報を高感度に読み出すことができるうえ、感磁層34の単磁区化をより促進することができるので、より安定した読出動作を行うことができる。

【0070】

<第2の変形例>

次に、図14を参照して、本実施の形態の薄膜磁気ヘッド1におけるMR素子10Aの第2の変形例（変形例2）について説明する。

【0071】

図14は、本実施の形態のMR素子10Aにおける変形例2としてのMR素子10Cの断面構成を表すものであり、本実施の形態における図5に対応している。本変形例のMR素子10Cは、上記変形例1のMR素子10Bと同様に、一般に、デュアルSV構造と呼ばれるものである。但し、変形例1では、上層部分50Bにおける磁気固定層37および反強磁性層38の幅が感磁層34の第1の幅W1に対応するようにしたのに対し、本変形例では、磁気固定層37および反強磁性層38を含む第3の積層部分51Cが、第1の幅W1よりも大きな第3の幅W3をなすようにしたものである。

【0072】

すなわち、本変形例のMR素子10CにおけるMR膜51は、感磁層34を有し、X方向の幅が第1の幅W1をなすように延在する第1の積層部分51Aと、反強磁性層32を有し、X方向の幅が第1の幅W1よりも大きな第2の幅W2をなすように延在する第2の積層部分51Bと、第1の積層部分51Aを挟んで第2の積層部分51Bと反対側に設けられ、X方向の幅が第1の幅W1よりも大きな第3の幅W3をなすように延在する第3の積層部分51Cとを備えている。ここで、第2の幅W2と第3の幅W3とは同じ大きさの幅であってもよいし、異なってもよい。さらに、MR素子10Cは、MR膜51をX方向に挟んで対向する一対の磁気制御膜17を含んでいる。この一対の磁気制御膜17は、X方向において第1の積層部分51Aを挟むように第1の幅W1に対応する間隔で対向配置され、感磁層34に縦バイアス磁界を印加する一対の第1の磁区制御部分122と、X方向において第2の積層部分51Bを挟むように対向配置され、感磁層34に縦バイアス磁界を印加する一対の第2の磁区制御部分121と、X方向において第3の積層部分51Cを挟むように対向配置され、感磁層34に縦バイアス磁界を印加する一対の第3の磁区制御部分123とを備えている。第3の磁区制御部分123は、第1の磁区制御部分122の側から順に下地層123Aと磁区制御膜123Bとを有している。

【0073】

図14を参照して、MR素子10Cにおける、さらなる詳細な構成について説明する。図14に示したように、第1の積層部分51Aは、第2の積層部分51Bの側から順に非磁性層34Aと強磁性層34Bと非磁性層34Cとが積層された感磁層34を有している。第2の積層部分51Bは、下部シールド層11の上に、下地層31、反強磁性層32および磁気固定層33がこの順に形成された構造を有している。さらに、第3の積層部分51Cは、第1の積層部分51Aの側から順に第2の磁気固定層としての磁気固定層37と、第2の反強磁性層としての反強磁性層38と、保護層35とを備えている。第3の積層部分51Cは、図14に示したように、絶縁膜13Aによって第1の磁区制御部分122と電氣的に絶縁され、かつ、絶縁膜13Bによって第3の磁区制御部分123と電氣的に絶縁されていることが望ましい。再生動作時の電流経路をX方向に広げることなく確実に第1の積層部分51Aの幅に限定するためである。なお、この場合、第1の磁区制御部分122と第3の磁区制御部分123とは電氣的に絶縁されていなくともよい。また、第1ないし第3の積層部分51A～51Cは、端面がX方向に対して垂直に形成されていることが最も好ましいが、ここでは、第1の幅W1が感磁層34における強磁性層34Bの平

均的な幅を示し、第2の幅W2が反強磁性層32の平均的な幅を示し、さらに、第3の幅W3が反強磁性層38の平均的な幅を示すものとする。

【0074】

本変形例のMR素子10Cを備えた薄膜磁気ヘッドによれば、シングルSV構造のMR素子10Aを備えた場合よりも、より大きな抵抗変化量 ΔR が得られる。さらに、比抵抗の大きな反強磁性層38を含む第3の積層部分51Cが第1の幅W1よりも大きな第3の幅W3をなすようにしたので、上記実施例1のMR素子10Bの場合よりもMR素子全体の抵抗値Rを小さくすることができる。したがって、MR比 $\Delta R/R$ をより大きくすることができるので、より高密度化した磁気記録媒体3からの微弱な信号磁界を、MR素子10A、10Bよりも高感度に検出することができる。

【0075】

<第3の変形例>

次に、図5を参照して、本実施の形態の薄膜磁気ヘッド1におけるMR素子10Aの第3の変形例(変形例3)について説明する。

【0076】

本実施の形態は、第1の磁区制御部分122と第2の磁区制御部分121とが同じ保磁力を有する場合に限定されるものではなく、互いに異なる保磁力を有するように構成することが可能である。例えば、第1の磁区制御部分122よりも第2の磁区制御部分121のほうが高い保磁力を有するようにしてもよいし、反対に、第1の磁区制御部分122よりも第2の磁区制御部分121のほうが低い保磁力を有するようにしてもよい。

【0077】

具体的には、例えば、第1の磁区制御部分122における磁区制御層122Bおよび第2の磁区制御部分121における磁区制御層121Bのうち、いずれか一方をコバルト白金合金(CoPt)により構成し、他方をコバルトクロム白金合金(CoCrPt)により構成することによって、互いに異なった保磁力とすることができる。この場合、CoPtにより構成した磁区制御層のほうが比較的高い保磁力を示す高磁力層となり、CoCrPtにより構成した磁区制御層のほうが比較的低い保磁力を示す低磁力層となる。特に、CoPtは $2.0 / (4\pi) \times 10^6 \text{ A/m}$ ($= 2.0 \text{ kOe}$) 程度の保磁力を示す組成とし、CoCrPtは $1.2 / (4\pi) \times 10^6 \text{ A/m}$ ($= 1.2 \text{ kOe}$) 程度の保磁力を示す組成とすることが好ましい。但し、CoPtについては、比較的低い飽和磁化を示すような、Co含有量が50%程度の組成とする。

【0078】

また、あるいは、磁区制御層122B、121Bの構成材料を同一としたまま、それぞれの下地層122A、121Aの組成を変更することにより、第1の磁区制御部分122と第2の磁区制御部分121との保磁力が互いに異なるようにしてもよい。

【0079】

このように、上層部分20Bに対応する第1の磁区制御部分122と、下層部分20Aに対応する第2の磁区制御部分121とを互いに異なる保磁力を有するように構成した場合には、寸法や形状などの設計上の自由度が増すので、磁気記録媒体の狭小な記録トラック幅に対応した実効トラック幅を確保しつつ、所望の磁界分布の形成を容易に行うことができる。また、この保磁力差を利用して、第1の磁区制御部分122と第2の磁区制御部分121とが互いに異なる磁化方向をなすように構成することもできる。

【0080】

具体的には、以下のようにして、第1の磁区制御部分122と第2の磁区制御部分121とが互いに異なる磁化方向をなす磁区制御膜12を形成する。上記実施の形態で説明した製造工程のうち、第2の磁区制御部分121を形成する工程において、例えば、CoPtを用いて磁区制御層121Bを形成すると共に、第1の磁区制御部分122を形成する工程においてCoCrPtを用いて磁区制御層122Bを形成する。こののち、まず、第2の磁区制御部分121における保磁力よりも大きな外部磁界を印加することにより、第2の磁区制御部分121を感磁層34の磁化容易軸方向と直交する方向(例えば、Y方向

)に着磁する。続いて、第2の磁区制御部分121における保磁力よりも小さく、かつ、第1の磁区制御部分122における保磁力よりも大きな外部磁界を印加することにより、第2の磁区制御部分121の磁化方向を変えなく第1の磁区制御部分122を感磁層34の磁化容易軸方向(例えば、X方向)に対応した磁化方向に着磁する。こうすることにより、比較的低い保磁力を有すると共に感磁層34の磁化容易軸方向に対応した磁化方向を有する第1の磁区制御部分122と、比較的高い保磁力を有すると共に感磁層34の磁化容易軸方向と直交する磁化方向を有する第2の磁区制御部分121とからなる磁区制御膜12を形成することができる。

【0081】

このような構成の磁区制御膜12とすることにより、第1の磁区制御部分122の作用によって感磁層34の単磁区化が十分に行われると共に、第2の磁区制御部分121の作用によって磁気固定層35における磁化がより強固に固定される。この結果、磁気情報の再生動作時において効率的に、かつ、より安定した出力を得ることができる。

【0082】

なお、磁区制御膜において上記のような保磁力差を設けることについては、図5に示したMR素子10Aの場合に限らず、図13のMR素子10Bおよび図14のMR素子10Cにおいても同様に適用できる。すなわち、MR素子10Bにおいても、第1の磁区制御部分122および第2の磁区制御部分121が互いに異なる保磁力を有するように構成してもよい。また、MR素子10Cにおいても、第1ないし第3の磁区制御部分121～123が互いに異なる保磁力を有するように構成してもよい。MR素子10Cの場合には、保磁力差を利用して着磁することにより、第1の磁区制御部分122の磁化方向を感磁層34の磁化容易軸方向と対応させると共に第2の磁区制御部分121および第3の磁区制御部分123の磁化方向をそれぞれ、感磁層34の磁化容易軸方向とは異なる磁気固定層33、37の磁化方向に対応させるようにすることもできる。このような場合においても、感磁層34の単磁区化を良好に行うと共に、出力の向上を図ることができる。

【0083】

[第2の実施の形態]

次に、図15を参照して、本発明の第2の実施の形態の薄膜磁気ヘッド1におけるMR素子10Dについて説明する。

【0084】

図15は、本実施の形態の薄膜磁気ヘッド1におけるMR素子10Dの断面構成を表すものであり、上記第1の実施の形態における図5に対応している。図15では、図5に示した構成要素と実質的に同一の部分には同一の符号を付している。

【0085】

なお、以下の説明では、本実施の形態の薄膜磁気ヘッドの構成について、主に、上記第1の実施の形態と異なる点について説明し、他の説明は適宜省略する。

【0086】

上記第1の実施の形態のMR素子10Aでは、一对の第1の磁区制御部分122が、上層部分20Bと接するように構成されている。これに対し、本実施の形態のMR素子10Dは、図15に示したように、一对の第1の磁区制御部分122と上層部分20Bとの間に、一对の中間絶縁膜15を設けるようにしたものである。この一对の中間絶縁膜15は、例えば、 Al_2O_3 または AlN などの電気的および磁氣的な絶縁性を有する材料によって構成される。

【0087】

このように、一对の中間絶縁膜15を設けることにより、下部シールド11と上部シールド14との間を流れるセンス電流が、第1の磁区制御部分122に洩れにくくなる。すなわち、センス電流がX方向に広がることなく確実に上層部分20Bの幅に限定されて通過することとなるので、感磁層34の磁化方向の変化によるセンス電流の抵抗変化を、より高感度に検出することができる。

【0088】

この場合、一対の中間絶縁膜 15 は、それぞれ 5 nm 以上 10 nm 以下の厚みを有することが望ましい。5 nm 未満の厚みでは、十分な電気絶縁性を確保することが困難であり、一方、10 nm を超えるような厚みでは、磁気的な絶縁性が生じてしまい、感磁層 34 に対する第 1 の磁区制御部分 122 および第 2 の磁区制御部分 121 による縦バイアス磁界の印加が妨げられる恐れがあるからである。

【0089】

なお、図 15 では、一対の中間絶縁層 15 が、上層部分 20B における一対の端面 S20B を覆うと共に、下層部分 21A および第 2 の磁区制御部分 121 の上面を覆うように X 方向に延在するようにしたが、少なくとも一対の端面 S20B を覆うようにすればよく、これにより、上記の効果が得られる。

【0090】

また、本実施の形態の MR 素子 10D においても、第 1 の磁区制御部分 122 および第 2 の磁区制御部分 121 が互いに異なる保磁力を有するように構成してもよい。その場合、第 1 の磁区制御部分 122 が感磁層 34 の磁化容易軸方向に対応する磁化方向を有し、第 2 の磁区制御部分 121 が第 1 の磁区制御部分 122 における磁化方向と直交する磁化方向を有するようにすることができる。

【実施例】

【0091】

次に、上記第 1 および第 2 の実施の形態における具体的な実施例について説明する。

【0092】

以下に述べる実施例 1～4 では、上記第 1 の実施の形態において説明した製造方法に基づき、図 5 に示した断面構造を有する MR 素子 10A を備えた薄膜磁気ヘッド 1 のサンプルを形成した。但し、実施例 1～2（後出）についてのみ、図 15 に示した MR 素子 10D に対応するものである。これらのサンプルについて特性調査をおこなったので、以下、図 16～図 19 を参照して説明する。

【0093】

〔第 1 の実施例（実施例 1）〕

図 16 は、第 1 の幅 W_1 が $0.1\ \mu\text{m}$ であると共に一対の磁区制御膜 12 の全体の厚みが 50 nm となるように構成した場合に、一対の磁区制御膜 12 に挟まれた MR 膜 20 に印加される縦バイアス磁界の強度分布を示したものである。縦軸が磁界の強さ〔任意単位〕を表し、横軸が X 方向の位置〔 μm 〕を表す。なお、横軸は、MR 素子 10A、10D における MR 膜 20 の X 方向の中心位置を 0（ゼロ）とする。「△」で図示したものが、MR 素子 10A を備えた本実施例（実施例 1-1）の特性を表す。実施例 1-1 は、一対の第 1 の磁区制御部分 122 を、15 nm の厚みで $0.1\ \mu\text{m}$ の間隔となるように対向配置すると共に、一対の第 2 の磁区制御部分 121 を、35 nm の厚みで $0.3\ \mu\text{m}$ の間隔となるように対向配置したものである。さらに、「○」で図示したものが、10 nm の厚みをなす一対の中間絶縁膜 15 を有する MR 素子 10D を備えた本実施例（実施例 1-2）の特性を表す。実施例 1-2 は、一対の第 1 の磁区制御部分 122 を、15 nm の厚みで $0.12\ \mu\text{m}$ の間隔となるように対向配置すると共に、一対の第 2 の磁区制御部分 121 を、35 nm の厚みで $0.3\ \mu\text{m}$ の間隔となるように対向配置したものである。また、「◇」で図示した比較例 1-1 は、50 nm の厚みを有する一対の磁区制御膜が $0.1\ \mu\text{m}$ の間隔で対向配置されたものであり、「□」で図示した比較例 1-2 は、50 nm の厚みを有する一対の磁区制御膜が $0.3\ \mu\text{m}$ の間隔で対向配置されたものである。

【0094】

図 16 に示したように、比較例 1-1 では、全体的な磁界の強さは大きいものの、X 方向に沿って急勾配の磁界分布となっており、感磁層に不均一な縦バイアス磁界を印加することが困難となる。また、比較例 1-2 では、全体に亘ってより均一な縦バイアス磁界を印加することができるものの、全体的な磁界の強さが不十分である。これらに対し、実施例 1-1、1-2 は、比較例 1-2 よりも大きな磁界を得ることができると共に、比較例 1-1 よりも、磁界分布における平坦な部分をより幅広く確保することができる。実施例

1-1と実施例1-2との比較をした場合、実施例1-1は全体に亘って比較的強い磁界を得ることができ、一方の実施例1-2は全体に亘ってより平坦な分布をなす磁界を得ることができる。上記の結果、実施例1-1, 1-2のような構成にすれば、比較的強く、かつ、比較的均一な縦バイアス磁界を感磁層に印加することができ、単磁区化を促進することができることがわかった。

【0095】

[第2の実施例(実施例2)]

図17は、図16と同様に、一対の磁区制御膜12の全体の厚みが50nmとなるように構成した場合における、縦バイアス磁界の強度分布を示したものである。各実施例(実施例2-1~2-7)は、一対の第1の磁区制御部分122を0.1 μ mの間隔で対向配置すると共に、一対の第2の磁区制御部分121を0.3 μ mの間隔で対向配置するようにしたものである。第1の磁区制御部分122の厚みT1は、実施例2-1から順に、45, 40, 30, 20, 15, 10および5nmとし、これと対応するように第2の磁区制御部分121の厚みT2は、実施例2-1から順に、5, 10, 20, 30, 35, 40および45nmとした。

【0096】

図17に示したように、実施例2-1から実施例2-7へ向かうほど、すなわち、厚みT1が減少し、厚みT2が増加するほど全体的に磁界の強さは弱まるが、磁界分布における平坦な部分がより幅広くなる。逆に、実施例2-7から実施例2-1へ向かうほど、すなわち、厚みT1が増加し、厚みT2が減少するほど磁界分布における平坦な部分の幅が狭まるが、感磁層34に印加される磁界の強さは全体的に強くなる。この結果、特に、本発明における条件式(1)の範囲を満足する実施例2-4, 2-5および2-6の構成(T1/T2=20/30, 15/35および10/40)であれば、磁界の強さと磁界分布の均一性とのバランスがより良好に保たれることがわかった。

【0097】

[第3の実施例(実施例3)]

図18は、図16および図17と同様に、縦バイアス磁界の強度分布を示したものである。図18は、特に、一対の第2の磁区制御部分121による磁界の強さへの影響を示すものである。「△」で図示した実施例3-1は、一対の第1の磁区制御部分122を、15nmの厚みで0.1 μ mの間隔となるように対向配置すると共に、一対の第2の磁区制御部分121を、35nmの厚みで0.3 μ mの間隔となるように対向配置したものである。また、「×」で図示した実施例3-2は、一対の第1の磁区制御部分122を、15nmの厚みで0.1 μ mの間隔となるように対向配置すると共に、一対の第2の磁区制御部分121を、35nmの厚みで0.5 μ mの間隔となるように対向配置したものである。なお、15nmの厚みを有する一対の磁区制御膜が0.1 μ mの間隔で対向配置された比較例3を「◇」で図示する。

【0098】

図18に示したように、実施例3-1, 3-2は、いずれも全体に亘って比較例3よりも大きな磁界の強さを示した。これは、一対の第2の磁区制御部分121による効果である。この結果、第2の幅W2を0.3 μ m以上0.5 μ m以下の範囲内とすれば、X方向における強度分布の均一性を失うことなく、磁界の強さを効果的に強められることが確認できた。

【0099】

[第4の実施例(実施例4)]

図19は、MR素子10Bを備えた薄膜磁気ヘッド1について、PW50を測定した結果である(実施例4)。横軸が絶縁膜13の厚み[nm]を示し、縦軸がPW50を示す。ここでは、絶縁膜13の厚みが10nmの場合におけるPW50の値を1として規格化し、図示している。なお、比較例4として、図20に示したMR素子110について、絶縁膜113の厚みが20nmである場合のPW50を「□」で示す。

【0100】

図19に示したように、実施例4では、絶縁膜13の厚みが増加するとPW50も増加する傾向が見られた。同じ厚みで比較した場合、実施例4は、比較例4よりも小さなPW50を示した。すなわち、上部シールド層14の下面（境界面13U+境界面50U）に凹凸がなく、平坦であることにより、再生動作の際、磁気記録媒体3の信号磁界による磁束が上部シールド14に洩れることなくMR膜50の内部に集中して形成されることが確認できた。なお、図示しないが、このPW50と同様の傾向が、MRWuにおいても確認することができた。

【0101】

[第5の実施例（実施例5）]

次に、図13に示した上記第1の変形例のMR素子10Bについて、各層ごとの抵抗値を算出した。その結果を、各層の構成材料および厚みと併せて表1に示す（実施例5）。実施例5は、第1の幅W1を0.1 μ mとし、第2の幅W2を0.3 μ mとしたものである。ここでは、磁気固定層33、37は、いずれもCoFeからなる単層構造とした。これに対して、第1および第2の幅W1、W2が共に0.1 μ mである場合の各層の抵抗値を算出したものを、比較例5として表1に併せて記載する。なお、表1に示した各抵抗値は、比較例5におけるMR膜全体の抵抗値Rを1として規格化している。

【0102】

【表1】

MR膜50の構成		構成材料	厚み [nm]	抵抗値 [—]	
				比較例5	実施例5
保護層35		Cu	5	0.011	0.011
反強磁性層38		PtMn	13	0.406	0.406
磁気固定層37		CoFe	6	0.036	0.036
感磁層 34	非磁性層34C	Cu	0.006	0.006	0.006
	強磁性層34B	CoFe	0.018	0.018	0.018
	非磁性層34A	Cu	0.006	0.006	0.006
磁気固定層33		CoFe	6	0.036	0.012
反強磁性層32		PtMn	13	0.406	0.135
下地層31		Ta	5	0.075	0.025
MR膜50全体の抵抗値R				1.000	0.655

【0103】

表1に示したように、実施例5は、下地層31、反強磁性層32および磁気固定層33が第1の幅W1の3倍の大きさの第2の幅W2をなすようにしたので、下地層31、反強磁性層32および磁気固定層33における抵抗値が、それぞれ比較例5の抵抗値の1/3の大きさに減少している。これにより、MR膜全体の抵抗値Rが、比較例5における1に対し、実施例5は0.655となる。特に、比抵抗の大きい反強磁性層32の抵抗値の減少による効果が大きいことがわかった。

【0104】

以上、いくつかの実施の形態および変形例を挙げて本発明を説明したが、本発明は、これらの実施の形態および変形例に限定されず、種々変形可能である。例えば、本実施の形態および実施例では、シングルスピナバルブ型の磁気抵抗効果素子として、ボトムスピナバルブ型を例に挙げて説明したが、これに限定されるものではなく、トップスピナバルブ

型であってもよい。また、本実施の形態および実施例では、磁気抵抗効果素子がC P P - GMR素子であるものとして説明したが、これに限定されるものではなく、例えば、C I P - GMR素子であってもよい。この場合にも一対の磁区制御膜を2つの磁区制御部分によって構成することにより、強度と均一性とのバランスの良い縦バイアス磁界を形成することができ、読出動作の安定性を確保することができる。

【0105】

また、本実施の形態および実施例では、磁気固定層を3層からなるシンセティック構造としたが、単層の磁気固定層とすることも可能である。さらに、本実施の形態および変形例では、第1の幅を0.1 μm としたが、これに限定されるものではなく、適用される磁気記録媒体の記録トラック幅に対応して決定される。

【図面の簡単な説明】

【0106】

【図1】本発明の第1実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドを備えたアクチュエータアームの構成を表す斜視図である。

【図2】図1に示したアクチュエータアームにおけるスライダの構成を表す斜視図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの構成を表す分解斜視図である。

【図4】図3に示した薄膜磁気ヘッドのI V - I V線に沿った矢視方向の構成を表す断面図である。

【図5】図4に示した薄膜磁気ヘッドのV矢視方向から眺めた構成を表す要部断面図である。

【図6】図5に示した薄膜磁気ヘッドを製造する方法における一工程を表す要部断面図である。

【図7】図6に続く一工程を表す要部断面図である。

【図8】図7に続く一工程を表す要部断面図である。

【図9】図8に続く一工程を表す要部断面図である。

【図10】図9に続く一工程を表す要部断面図である。

【図11】図10に続く一工程を表す要部断面図である。

【図12】図11に続く一工程を表す要部断面図である。

【図13】図3に示した薄膜磁気ヘッドにおける第1の変形例（変形例1）としての構成を表す要部断面図である。

【図14】図3に示した薄膜磁気ヘッドにおける第2の変形例（変形例2）としての構成を表す要部断面図である。

【図15】本発明の第2実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの断面構成を表す断面図である。

【図16】本発明の第1の実施例（実施例1）における縦バイアス磁界分布を示す特性図である。

【図17】本発明の第2の実施例（実施例2）における縦バイアス磁界分布を示す特性図である。

【図18】本発明の第3の実施例（実施例3）における縦バイアス磁界分布を示す特性図である。

【図19】本発明の第4の実施例（実施例4）におけるPW50の特性を示す特性図である。

【図20】従来の薄膜磁気ヘッドの断面構成を表す要部断面図である。

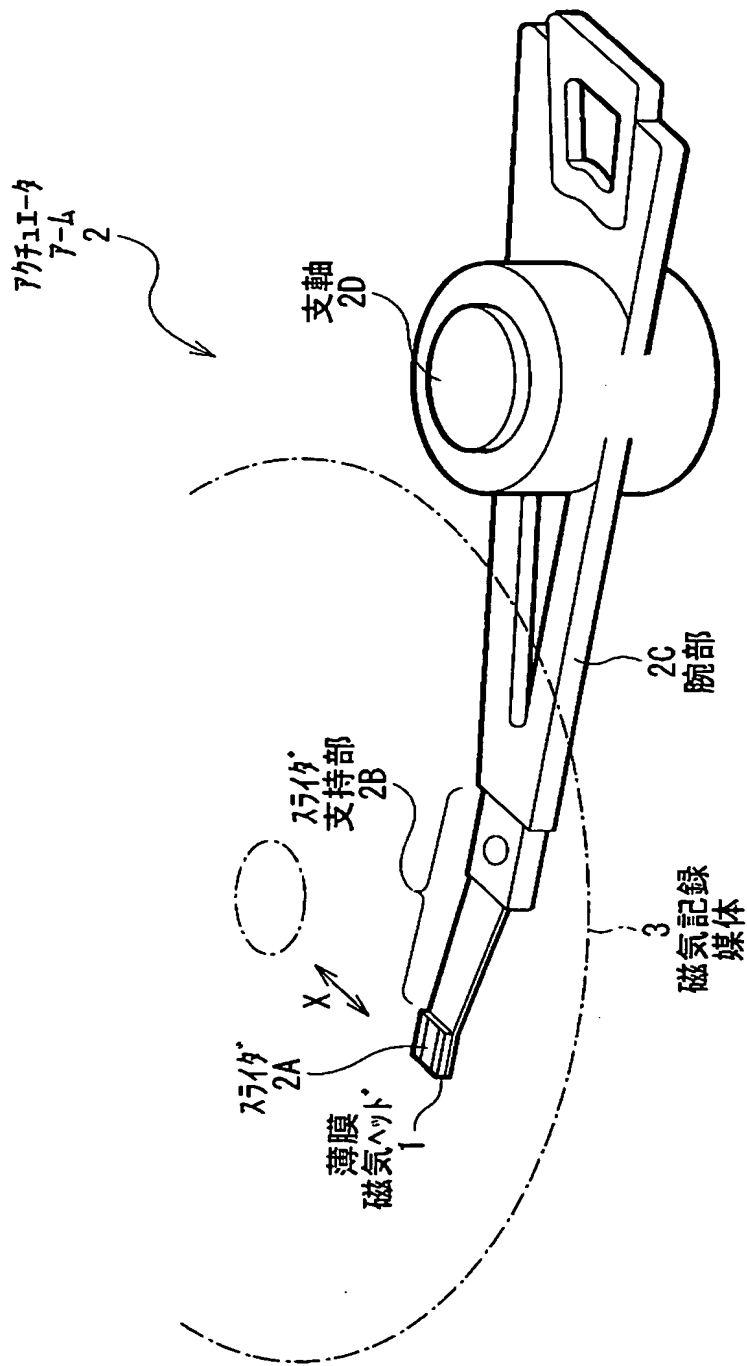
【符号の説明】

【0107】

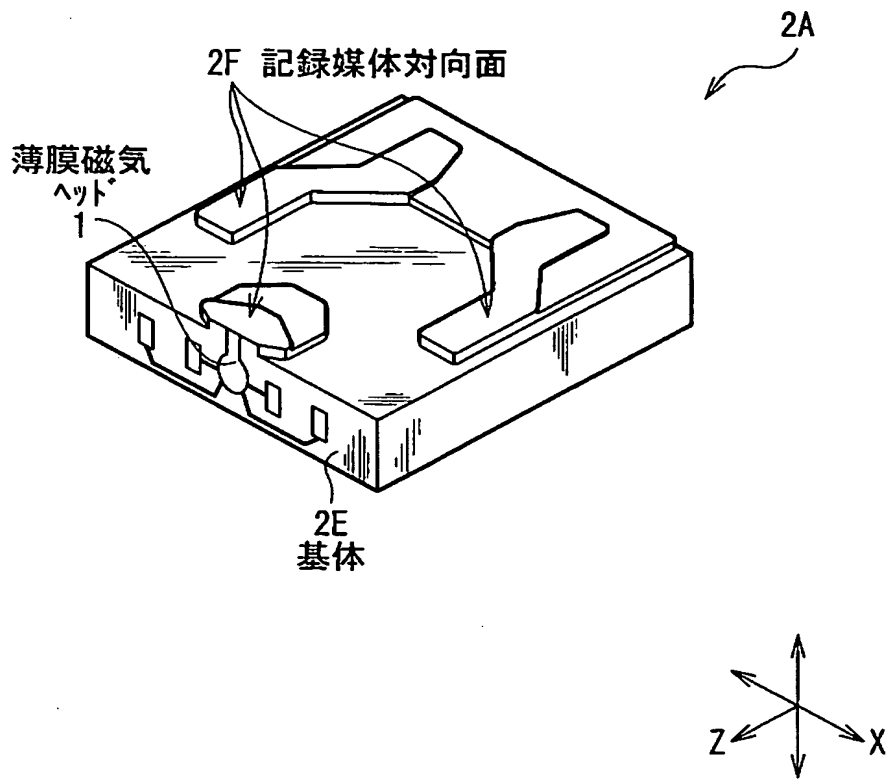
1…薄膜磁気ヘッド、2…アクチュエータアーム、3…磁気記録媒体、10（10A～10D）…磁気抵抗効果（MR）素子、11…下部シールド層、12…磁区制御膜、121…第2の磁区制御部分、122…第1の磁区制御部分、123…第3の磁区制御部分、

1 4 …上部シールド層、2 0, 5 0, 5 1 …MR膜、2 0 A, 5 0 A …下層部分、2 0 B, 5 0 B …上層部分、3 3, 3 7 …磁気固定層、3 4 …感磁層。

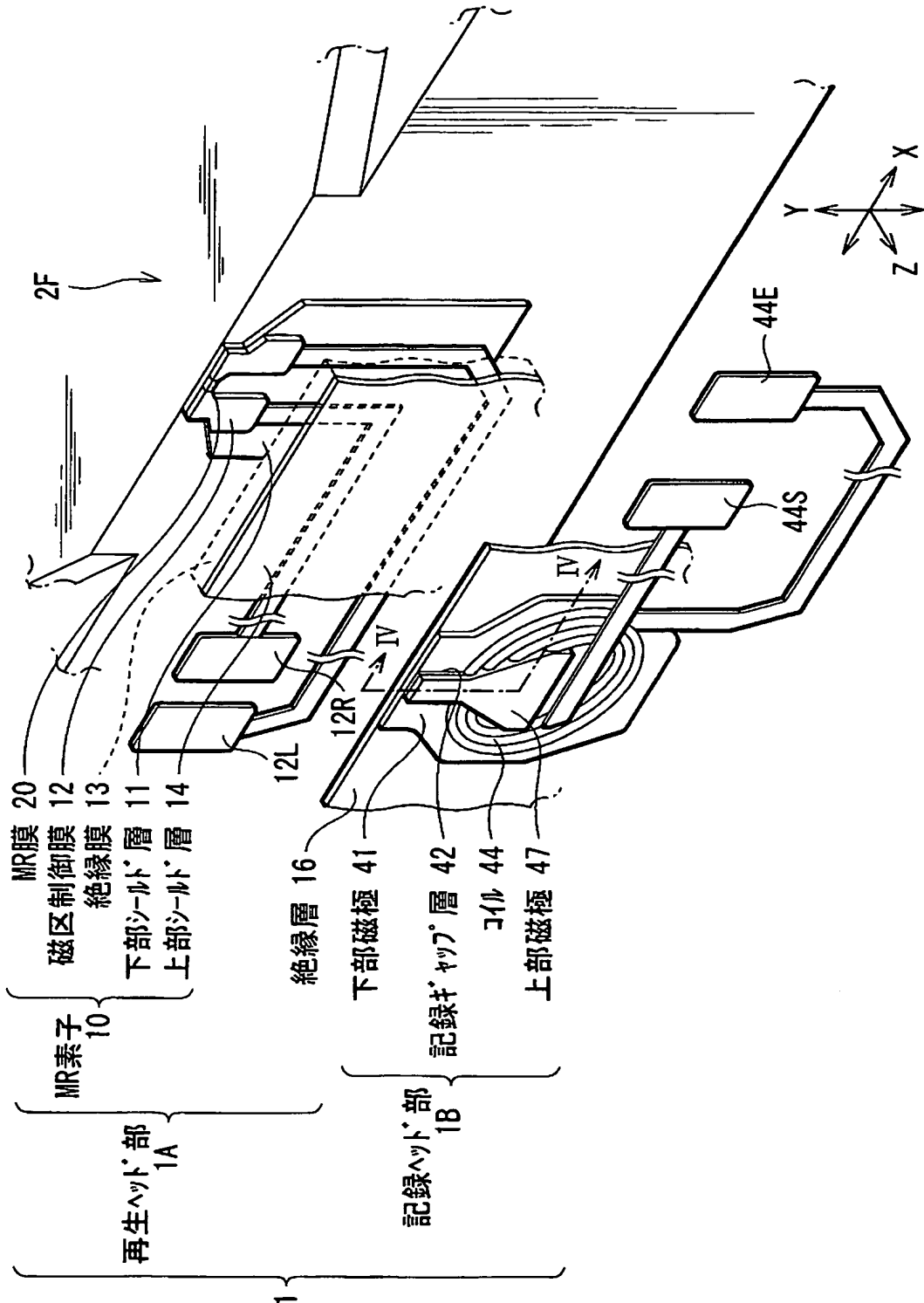
【書類名】 図面
【図 1】



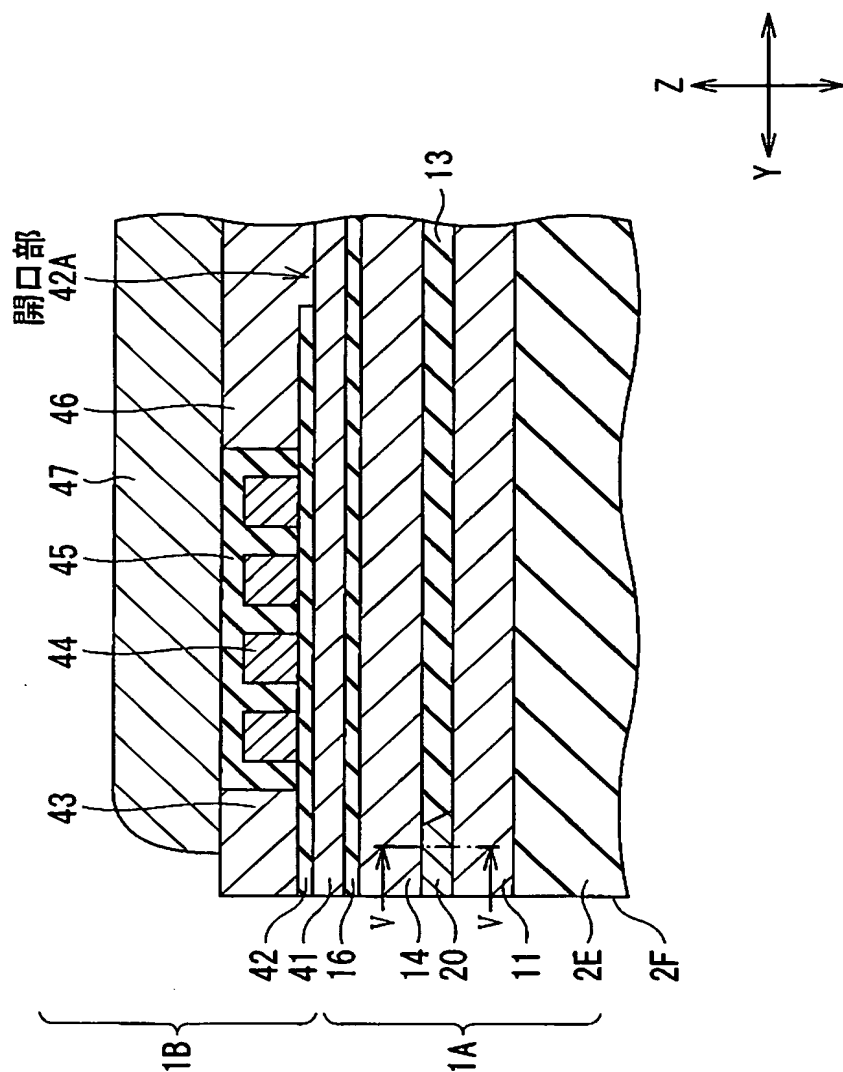
【図 2】



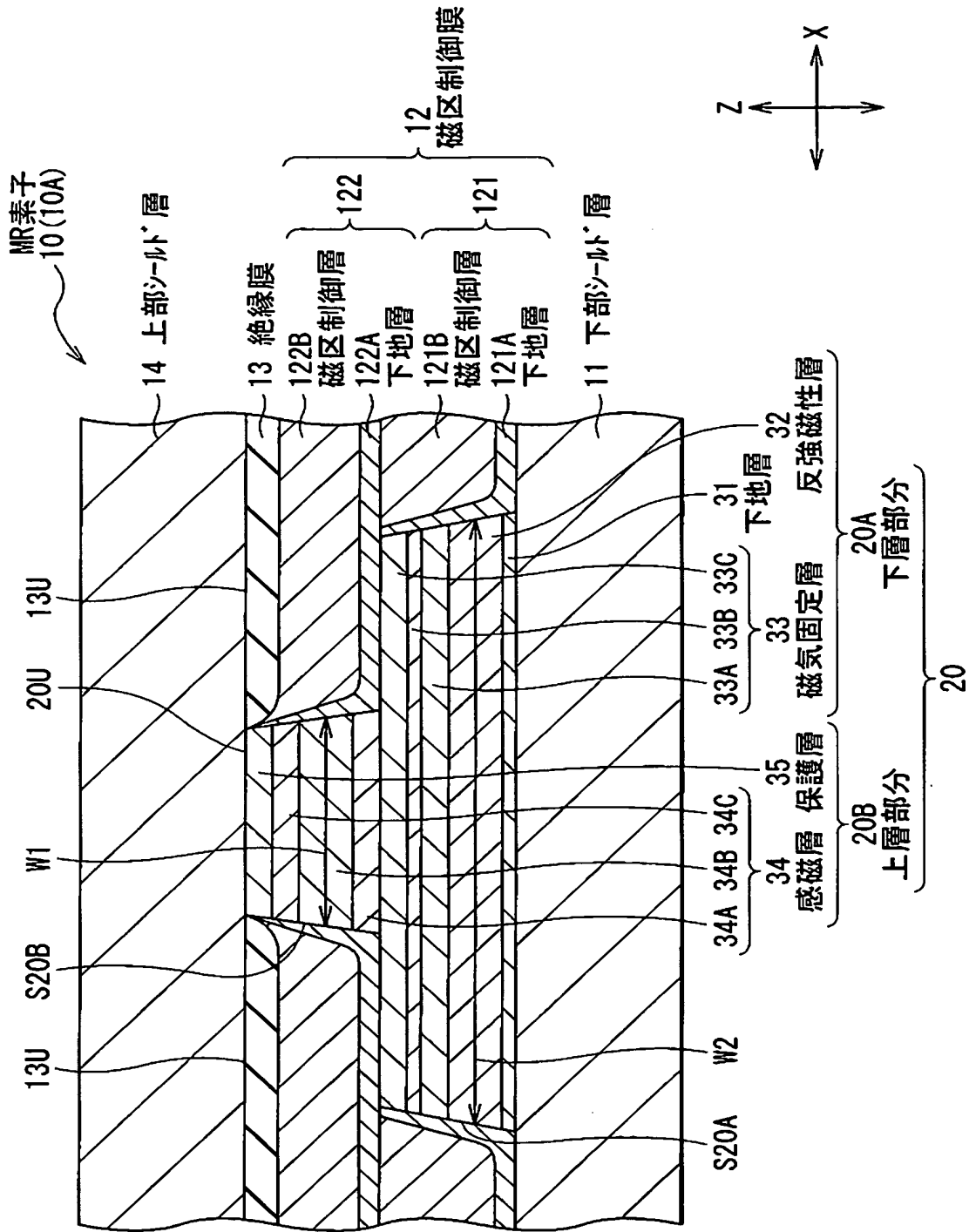
【図 3】



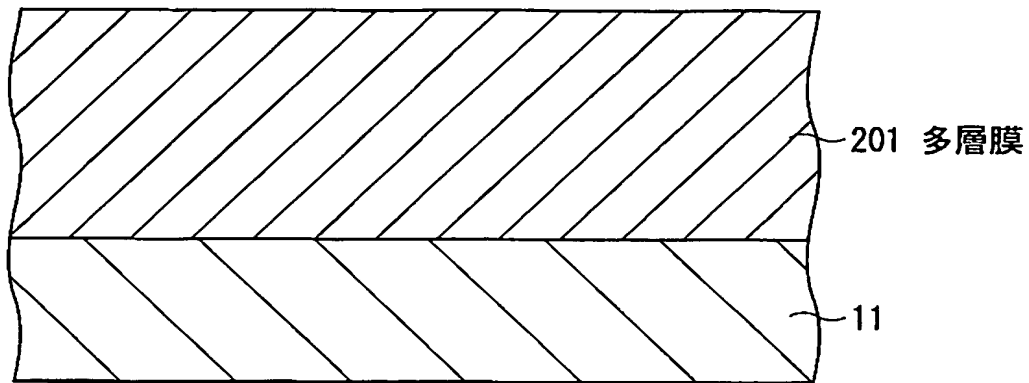
【図 4】



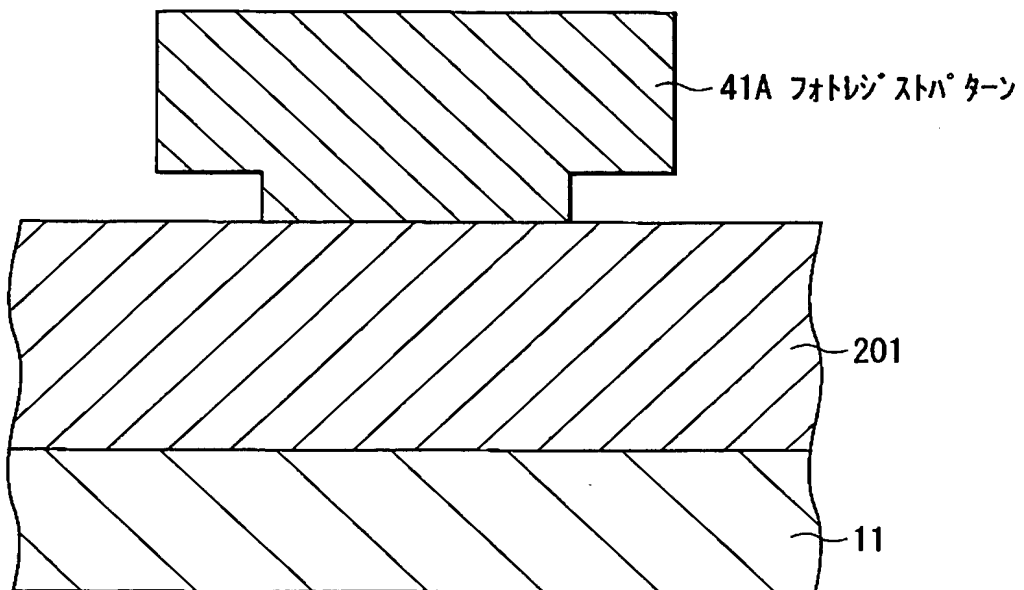
【図 5】



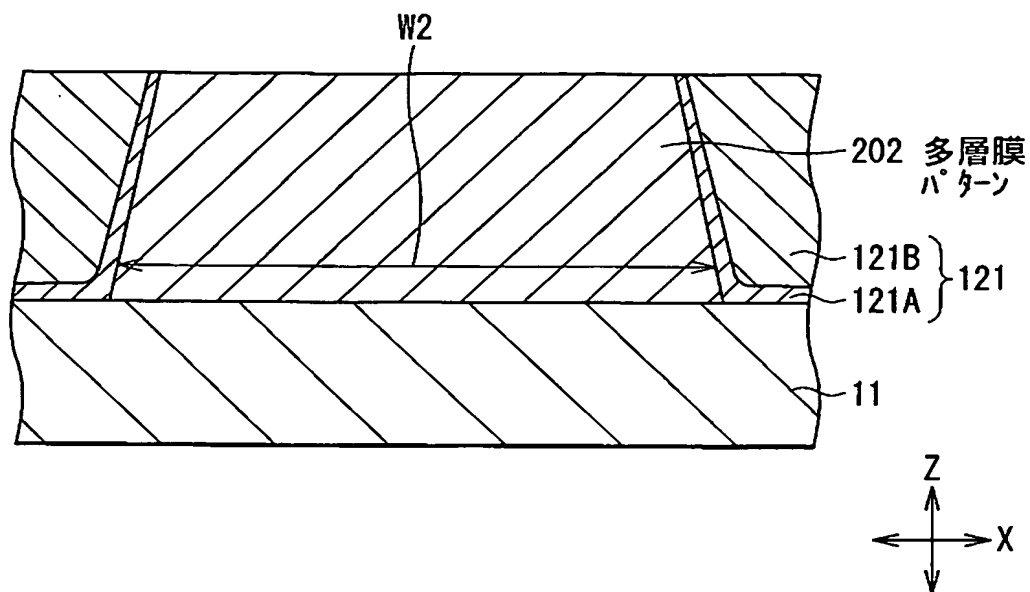
【図 6】



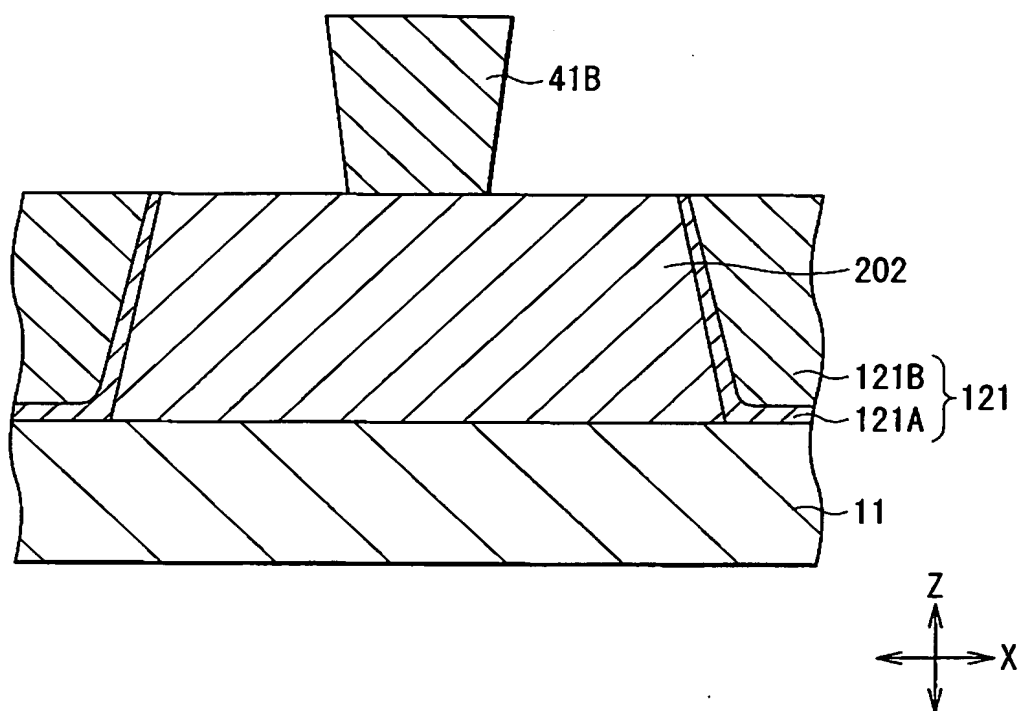
【図 7】



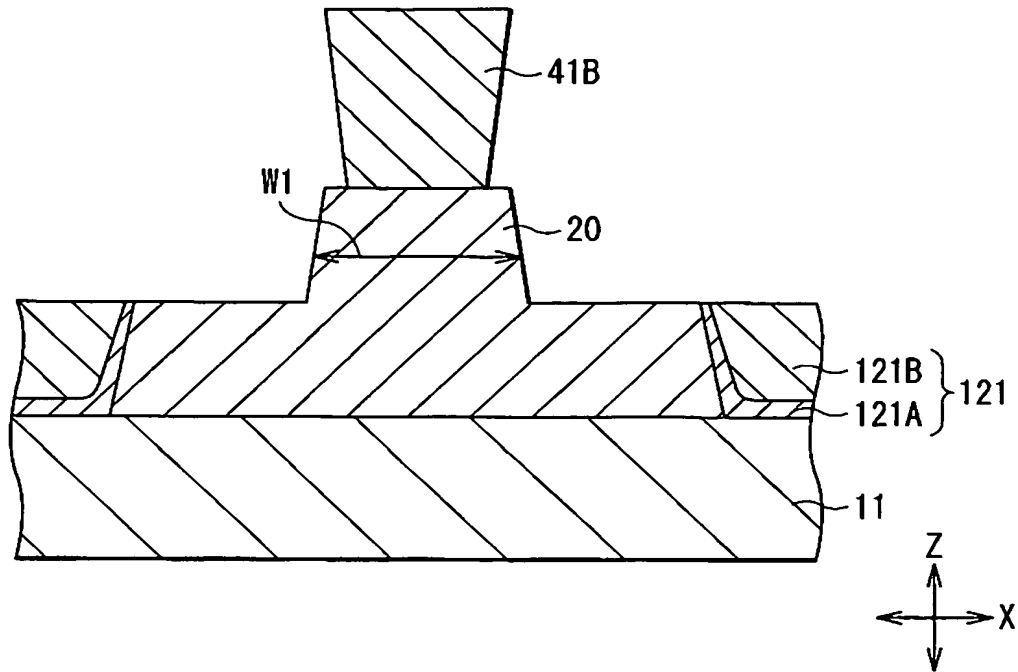
【図 8】



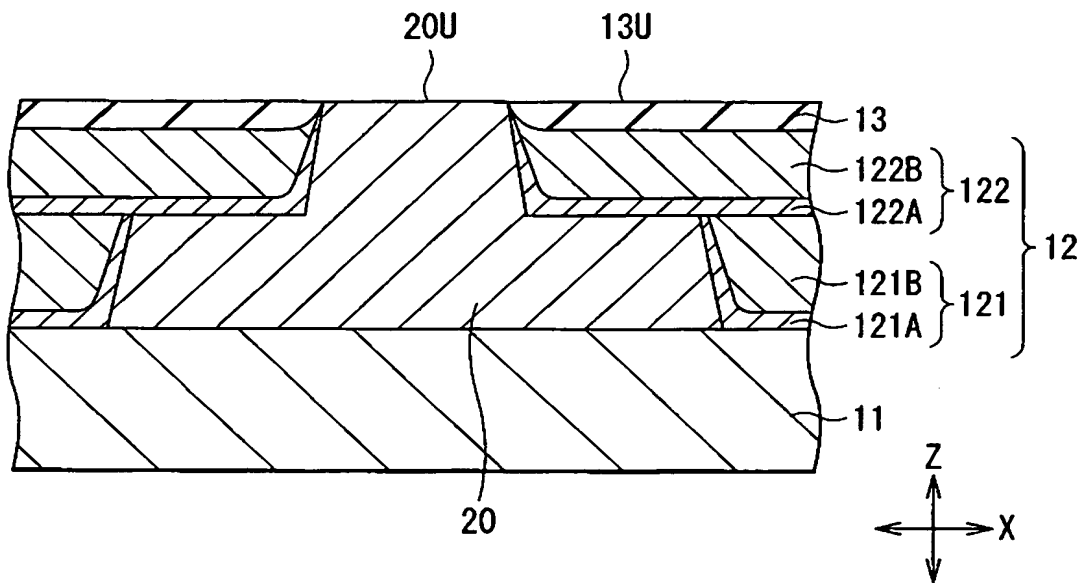
【図 9】



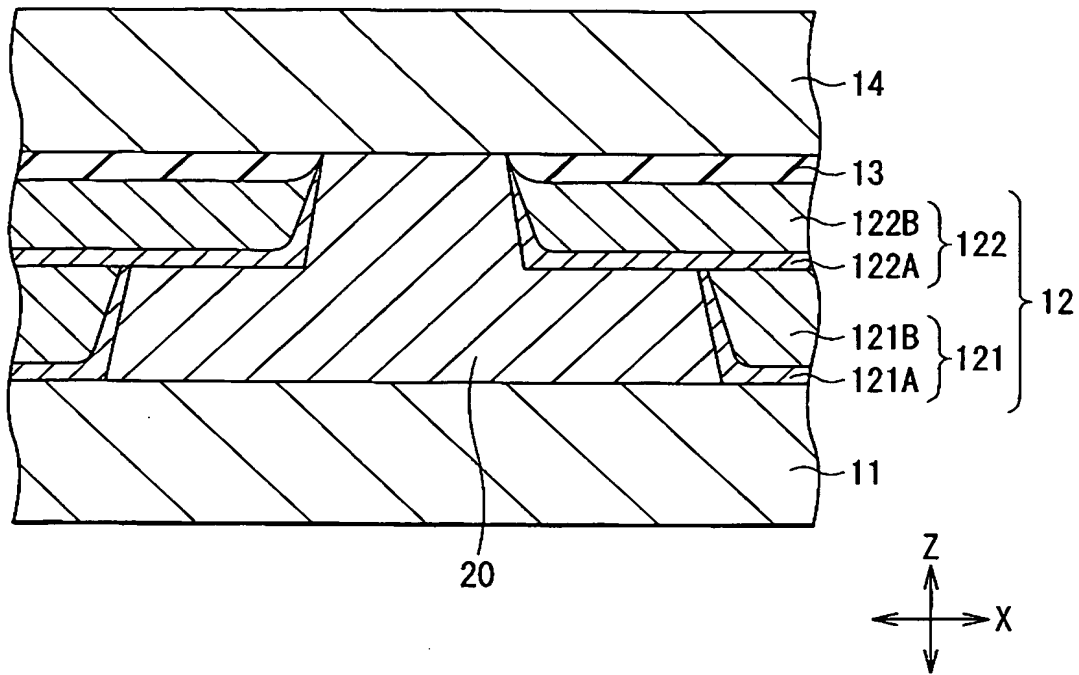
【図 10】



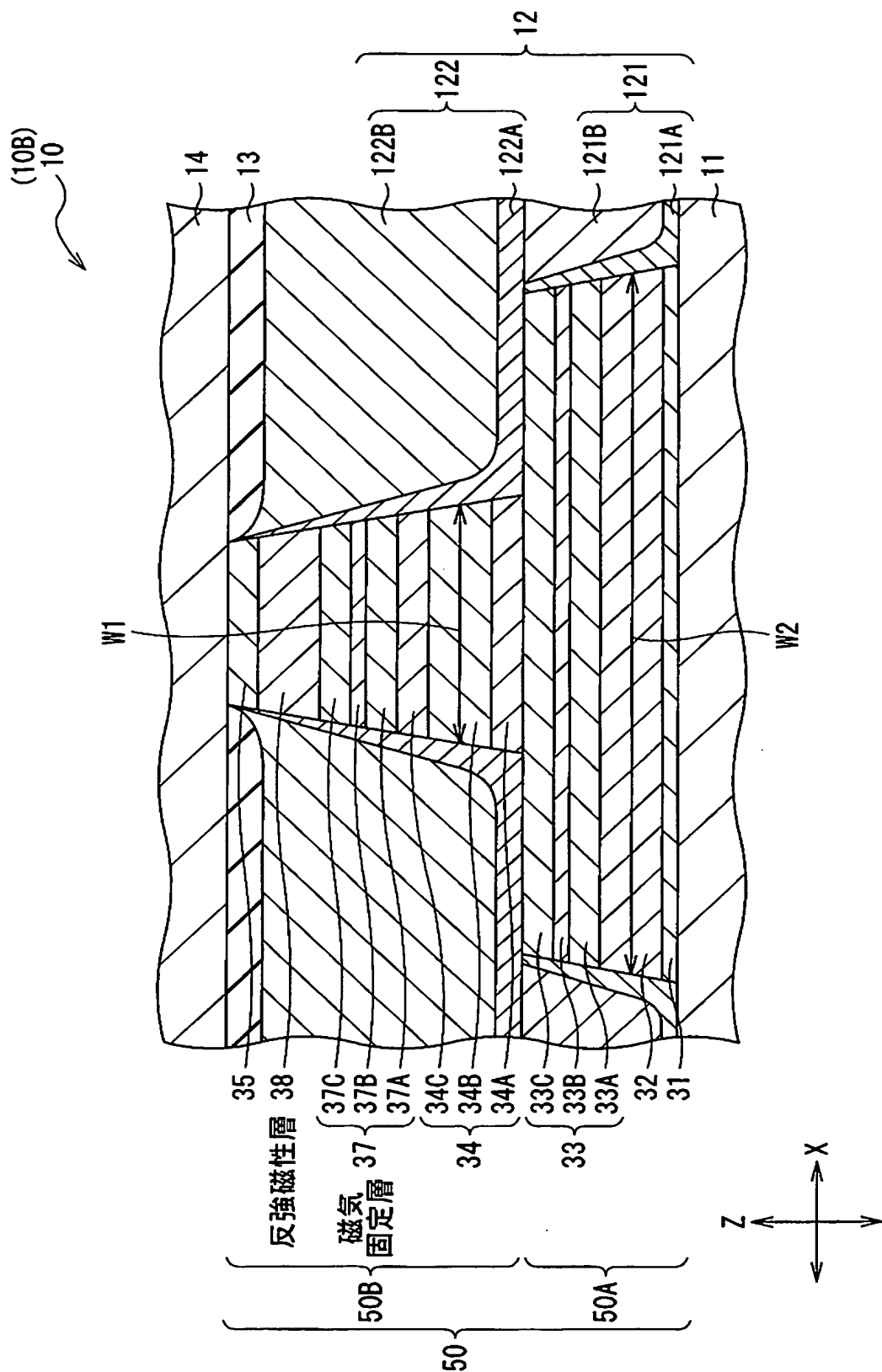
【図 11】



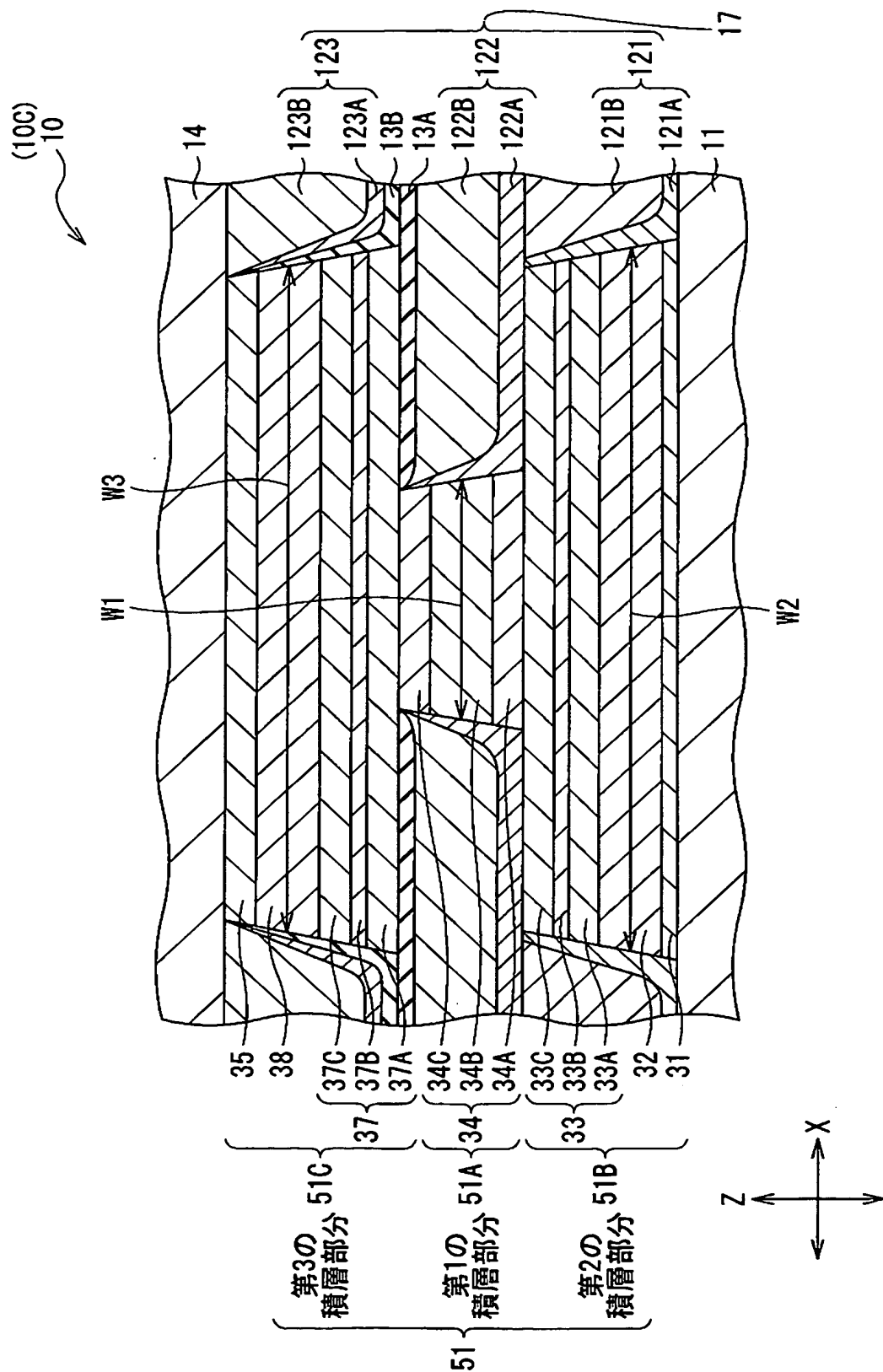
【図 12】



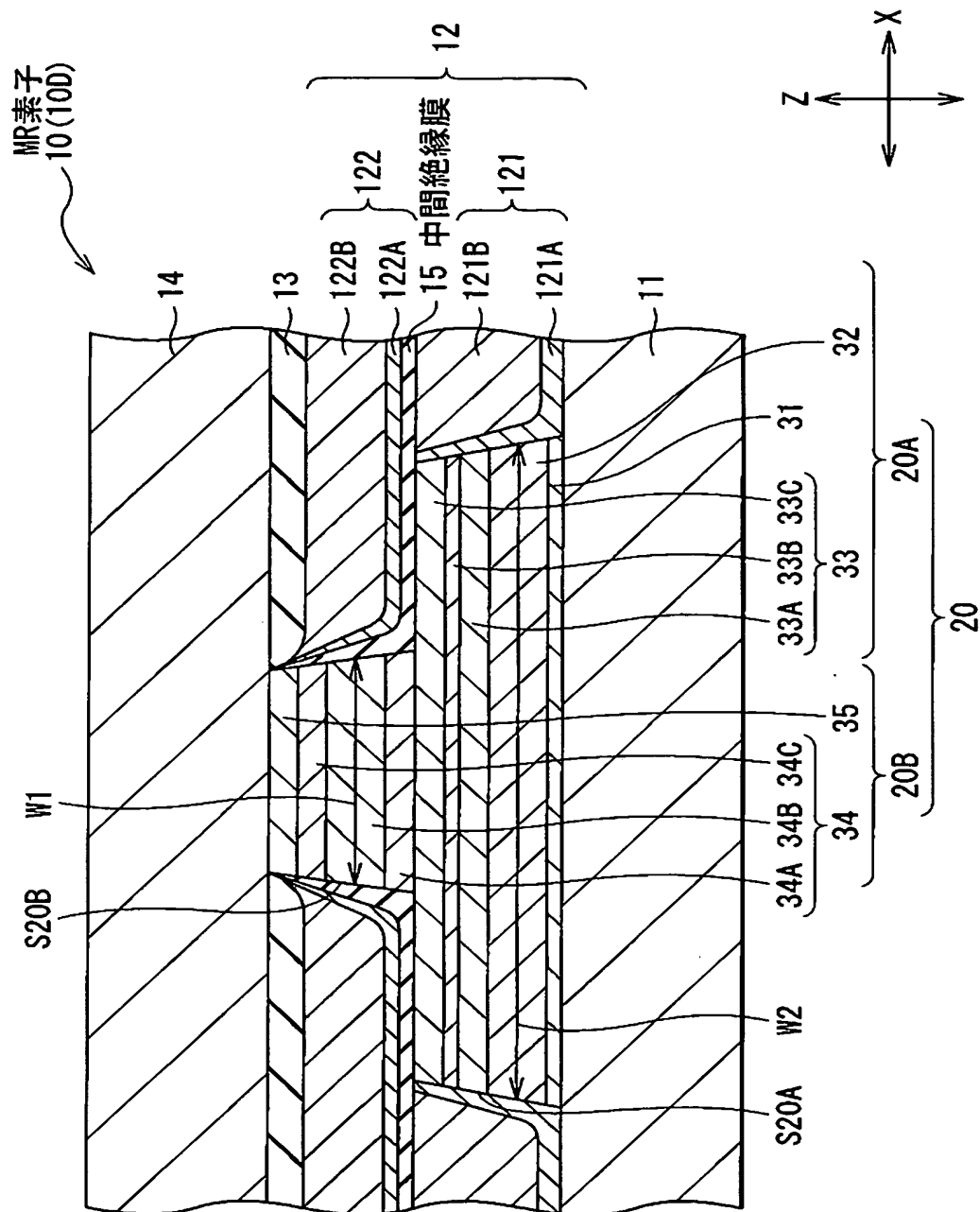
【图 13】



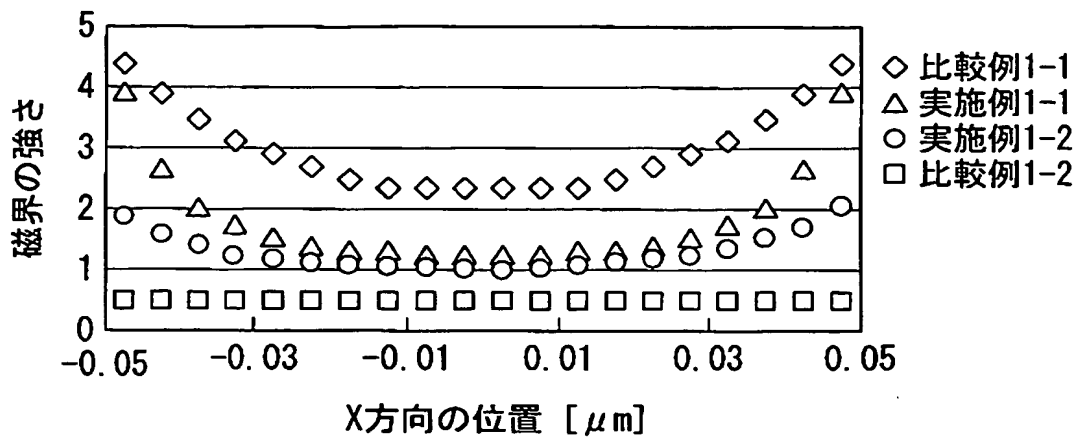
【図 14】



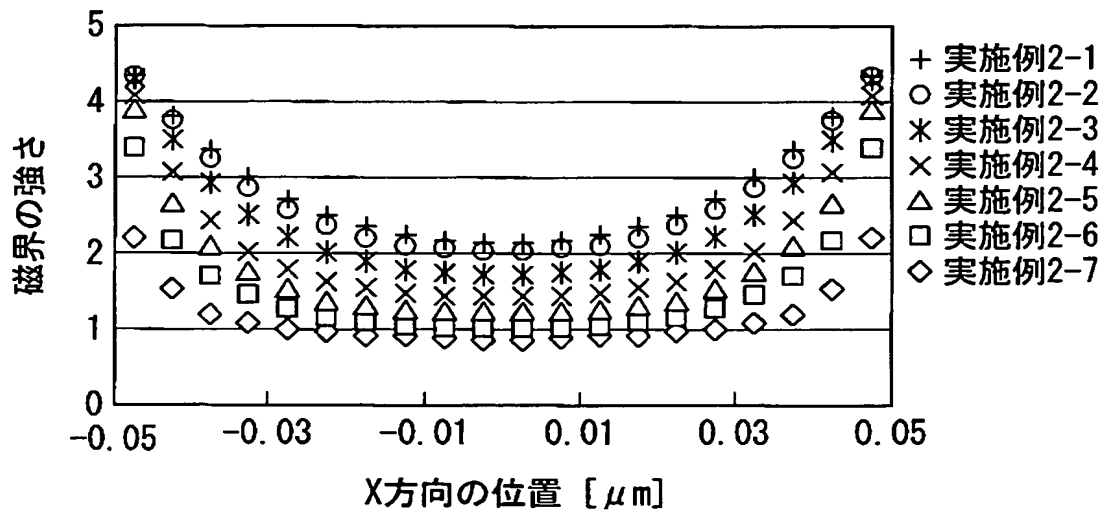
【図 15】



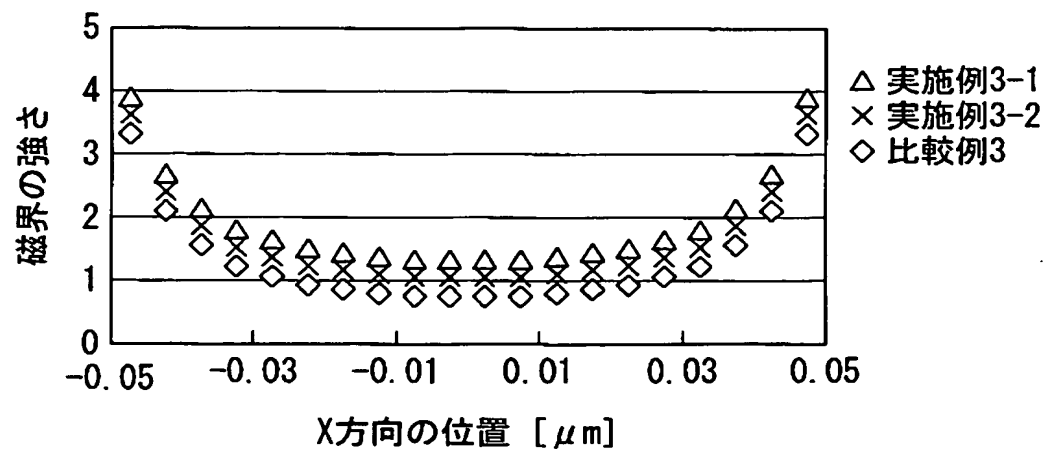
【図 16】



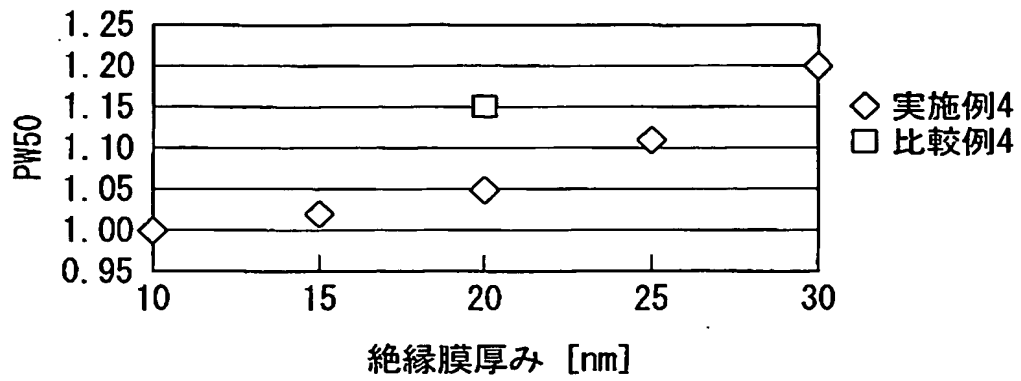
【図 17】



【図 18】



【図 19】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 高記録密度化に対応しつつ、感磁層の単磁区化を良好に行うことができ、さらに、より大きな抵抗変化率を発現することのできる薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法を提供する。

【解決手段】 第1の磁区制御部分122が第1の幅W1に対応して感磁層34を含む上層部分20Bを挟むと共に、第2の磁区制御部分121が第1の幅W1よりも広い第2の幅W2をなす下層部分20Aを挟むように構成する。これにより、感磁層34を狭小化しつつも、感磁層34に対し十分な強度と均一性とを併せ持つ縦バイアス磁界を印加することができる。この結果、高記録密度化に対応しつつ感磁層34の単磁区化を促進することができ、より安定した読出動作を行うことができる。特に、MR膜20に対し厚み方向にセンス電流を流すようにした場合には、より高い磁気抵抗変化率が得られる。

【選択図】 図5

特願 2 0 0 3 - 4 0 9 4 1 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 3 0 6 7]

1. 変更年月日 2 0 0 3 年 6 月 2 7 日

[変更理由] 名称変更

住 所 東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号

氏 名 T D K 株式会社